

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Návrh hlasité hovorové soupravy s potlačením akustické zpětné vazby
Design of Loud Speech Kit with Acoustic Feedback Supression

2013

Jan Hrnčárek

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Hrnčárek**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika

Téma: **Návrh hlasité hovorové soupravy s potlačením akustické zpětné vazby**
Design of Loud Speech Kit with Acoustic Feedback Supression

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte negativní vlivy akustické vazby na vlastnosti hovorové soustavy.
2. Navrhněte a realizujte zapojení hlasité hovorové soupravy vhodné pro domácí komunikační systémy.
3. Vlastnosti navržené soupravy experimentálně ověřte na zhotoveném prototypu.

Seznam doporučené odborné literatury:


Podle pokynů vedoucího bakalářské práce

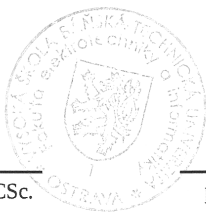
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Tesař**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh hlasité hovorové soupravy s potlačením akustické zpětné vazby pod vedením vedoucího bakalářské práce vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 3.5.2013


.....
podpis

Poděkování

Rád bych zde chtěl co nejvíce poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Zdeňku Tesařovi za svůj věnovaný čas, ochotu, odbornou pomoc a v neposlední řadě také za mnoho cenných rad a připomínek při vypracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a blízkým za podporu a trpělivost, kterou se mnou museli mít.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je návrh hlasitého telefonu určeného pro domovní komunikační systém, u kterého je nutné zajistit potlačení akustické zpětné vazby. Veškerý návrh se prováděl s použitím součástek, jejichž hlavní charakteristikou je nízký odběr. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou shrnuty základní pojmy jako jsou třeba elektroakustika, zpětná vazba, mikrofon, reproduktor, a také stručná teorie domovních komunikačních systémů a telekomunikačních vidlic. V praktické části je pak práce rozdělena na dílčí oddíly. Každý oddíl znázorňuje jednotlivý úsek zapojení domovního telefonu včetně popisů, schémat a výpočtů. Posledním bodem je ověření funkčnosti, popř. doladění jednotlivých obvodů. Testování se provádělo na nepájivém poli, kde jsme využívali generátoru sinusového signálu a osciloskop pro zobrazení chování vstupního a výstupního napětí.

Klíčová slova

Akustika; zvuk; elektroakustika; zpětná vazba; elektroakustické měniče; mikrofon; reproduktor; domovní komunikační systém; domovní telefon; vidlice; zesilovač; omezovač;

Abstract

The purpose of the bachelor's work is to design a loud speech kit designated for domestic communication systems, in which it is necessary to provide acoustic feedback suppression. All drafts are implemented by using components, whose main characteristic is the low power consumption. The work is divided into a theoretical and a practical part. The theoretical section summarizes basic terms such as electroacoustics, feedback, microphone, speaker and a brief theory of domestic communication systems and hybrids conversion. The practical section is divided into sub-sections. Each section represents an individual segment of domestic telephone connection including descriptions, diagrams and calculations. The last item was to verify the functionality or if it's needed, tuning of individual circuits. The testing is done on an unsoldered field, where we use a sinusoidal signal generator and an oscilloscope to view the behavior of the input and the output voltage.

Key words

Acoustics; sound; electroacoustics; feedback; electroacoustic transducers; microphone; speaker; domestic communication system; domestic telephone; hybrid; amplifier; limiter;

Seznam použitých symbolů, zkratek a termínů

A	Ampér (jednotka elektrického proudu)
C_i	Kondenzátor
dB	Decibel
F	Farad (jednotka kapacity)
Hz	Hertz (jednotka frekvence)
mV/Pa	Jednotka citlivosti mikrofonů
Pa	Pascal (jednotka tlaku)
R_i	Rezistor
V	Volt (jednotka elektrického napětí)
W	Watt (jednotka výkonu)
Z_i	Impedance
Z_L	Impedance vedení
Z_V	Impedance vyvažovače
Ω	Ohm (jednotka odporu)
\wedge	Konjunkce (logická spojka „a zároveň“)

Pozn.: V seznamu nejsou uvedeny symboly a zkratky, které jsou používány jen ojediněle. Tyto symboly jsou vysvětleny v textu.

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Základní pojmy.....	2
2.1 Akustika.....	2
2.2 Zvuk.....	2
2.3 Elektroakustika.....	3
2.4 Zpětná vazba.....	3
2.4.1 Kladná zpětná vazba.....	4
2.4.2 Záporná zpětná vazba.....	4
2.5 Akustická zpětná vazba.....	4
2.6 Hovorová souprava.....	4
3 Elektroakustické měniče.....	5
3.1 Základní principy elektroakustických měničů.....	5
3.1.1 Elektromagnetický.....	5
3.1.2 Elektrodynamický.....	5
3.1.3 Elektrostatický.....	6
3.2 Mikrofony.....	6
3.2.1 Základní vlastnosti mikrofonů.....	6
3.2.2 Provedení základních typů mikrofonů.....	7
3.3 Reproductory a sluchátka.....	9
3.3.1 Základní vlastnosti reproduktorů.....	10
3.3.2 Provedení základních typů reproduktorů.....	11
4 Domovní komunikační systém.....	12
4.1 Systémy domovních telefonů.....	12
4.2 Hlavní součásti systémů domovních telefonů.....	12
4.2.1 Napaječ.....	12
4.2.2 Zvonkový panel.....	13
4.2.3 Domovní telefon.....	13
4.2.4 Elektrický zámek.....	13
4.2.5 Elektronická výhybka.....	13
5 Telekomunikační vidlice.....	14
6 Návrh domovního telefonu.....	17
6.1 Přijímač volby s DIP8 přepínačem.....	18
6.1.1 Schmittovy klopné obvody.....	19
6.1.2 Integrovaný obvod 40103D.....	20
6.1.3 Popis funkce obvodu přijímání volby.....	21
6.2 Spínací obvod.....	22
6.3 Mikrofon.....	24
6.3.1 Návrh obvodových prvků mikrofonu.....	25

6.4 Mikrofonní předzesilovač.....	27
6.4.1 Určení zesílení mikrofonního předzesilovače.....	29
6.5 Kompresní obvod.....	30
6.6 Převodník U/I.....	32
6.7 Vidlice.....	34
6.7.1 Kabeláž pro určení odporu vedení.....	35
6.7.2 Odvození vztahu pro vyvážení vidlice.....	36
6.7.3 Návrh součástek pro vidlici.....	37
6.8 Výkonový zesilovač s reproduktorem.....	40
6.8.1 Integrovaný obvod TDA2822M.....	41
7 Měření.....	42
7.1 Počítačová analýza vidlice v programu SNAP.....	42
7.2 Zapojení a odměření vidlice.....	44
7.3 Zapojení a odměření mžikového kompresoru.....	45
8 Závěr.....	47
9 Seznam literatury.....	48
10 Přílohy.....	1

1 Úvod

Tématem bakalářské práce je kompletní návrh hovorové soupravy, která bude určena pro hlasitý provoz. To znamená, že pro vyřešení této práce se budeme zabývat jednou částí domovních komunikačních systémů a to konkrétně domovního telefonu, u kterého hlavně musíme zajistit potlačení akustické zpětné vazby, která by nám nepříznivě ovlivňovala komunikaci.

Hlavním cílem tedy bude nejen navrhnout, ale i sestavit a odměřit funkční prototyp hlasité hovorové soupravy a to včetně veškerých důležitých obvodů, jako jsou třeba spínací obvody, obvody pro přijímání volby, ale také mikrofonní a výkonový zesilovač a obvody pro úpravu hovorového signálu.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou (návrhovou) část. Nicméně při vypracovávání praktické části se však občas dostaneme do problému, který bude třeba teoreticky vysvětlit. První kapitola obsahuje úvodní popis problému, kde jsou naznačeny cíle práce a rozdělení částí. Ve druhé kapitole práce se budeme zabírat základními pojmy co se týče zvuku, akustiky, elektroakustiky, hovorových souprav a zpětné vazby. Kapitola tři je výhradně zaměřena na přeměnu akustického signálu na elektrický a naopak, tedy elektroakustické měniče a jejich charakteristiku a vlastnosti. Ve čtvrté části se pomalu přiblížíme k domovnímu telefonu a povíme si základní informace o domovních systémech. Pátá kapitola bude teorie o telekomunikačních vidlicích, což je nejdůležitější obvod pro návrh a potlačení akustické zpětné vazby. Šestá kapitola je rozsáhlá kapitola týkající se vlastního návrhu hlasité hovorové soupravy. Kapitoly sedm a osm jsou předposledními částmi práce, kde jsou shrnuty naměřené výsledky, závěr a zhodnocení práce. Úplně v poslední kapitole devět jsou uvedeny literární prameny a zdroje se kterých se čerpalo při vytváření této práce. Za touto kapitolou pak dále ještě následují přílohy, které se týkají tabulek, grafů a průběhů napětí.

2 Základní pojmy

Dříve než se budeme moci zabývat samotným řešením této bakalářské práce, musíme se nejprve zaměřit na určité základní znalosti o akustice a elektroakustice, které jsou pro pochopení souvislostí nezbytné.

2.1 Akustika

O akustice můžeme říct, že je to rozsáhlý vědní obor zabývající se zvukem. Tedy jeho vznikem, přenosem a šířením v prostředí až po jeho vnímání a zpracování lidskými smysly. Jelikož samotná akustika je velmi komplexní obor, existuje celá řada poddisciplín jako jsou např. fyzikální akustika, hudební akustika a jiné. Nás bude samozřejmě nejvíce zajímat disciplína zabývající se elektroakustikou. Než se k ní však dostaneme, je třeba si říct i něco o zvuku samotném.

2.2 Zvuk

Zvuk obecně definujeme jako mechanické vlnění, které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem. Toto vlnění je charakterizováno parametry pohybu částic pružného prostředí nebo u vlnového pohybu parametry zvukového pole. Zvuk se může šířit plyny (nejčastěji vzduchem), pevnými látkami, ale i tekutinami ve formě zvukových vln. V každém médiu je šíření těchto vln rozdílné. Část zvuku se projevuje jako slyšitelný zvuk, což je akustické kmitání pružného prostředí v pásmu frekvencí od 16 Hz do 20 kHz. Tyhle frekvence je schopno zpracovat lidské ucho, které vnímá změny atmosférického tlaku bubínkem a pomocí něj přenáší chvění na nervové buňky ve vnitřním uchu. Nicméně frekvenční rozsah slyšitelného zvuku je individuální pro každého jedince. Jen málokdo je schopen vnímat celé pásmo frekvencí. Především pak vnímání horních frekvencí se postupem věku zhoršuje.

Zvuky, které se vyskytují mimo slyšitelnou oblast sice neslyšíme, ale přesto je jsme schopni vnímat a mohou mít i nepříznivý vliv na zdraví či psychiku. Zvuky pod slyšitelnou hranicí (pod 16 Hz) označujeme jako infrazvuk (velmi nízké frekvence), zvuky nad slyšitelnou hranicí (nad 20 kHz) jako ultrazvuk.

Z hlediska akustiky je důležitým pojmem akustický tlak. Ten definujeme jako rozdíl mezi okamžitou velikostí celkového tlaku v daném bodě zvukového pole a statickou (trvalou) hodnotou atmosférického tlaku. Dalším důležitým údajem je hladina akustického tlaku. Základní jednotkou je pascal [Pa], ale zpravidla se používá logaritmická jednotka decibel [dB].[1] Nejnižší akustický tlak, který je ještě lidské ucho schopno vnímat se nazývá práh slyšitelnosti a je roven 0 dB. Naopak

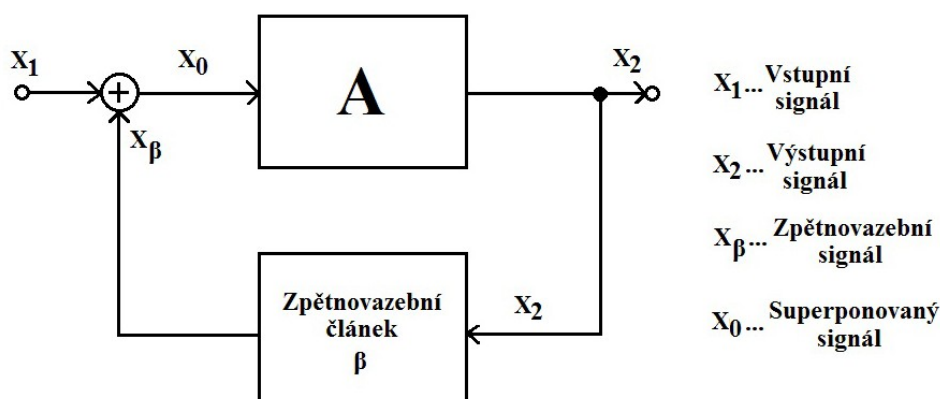
nejvyšší akustický tlak, který ještě náš sluchový orgán snese, se nazývá práh bolesti. Rozsah od prahu slyšení po práh bolesti se nazývá dynamika. Ta se pohybuje v rozmezí od 0 dB do 130 dB. V některé literatuře však můžeme najít i jinou hodnotu horní hranice, nicméně s jistotou můžeme říci, že při hodně velkém akustickém tlaku dochází k trvalému poškození sluchu.

2.3 Elektroakustika

V úvodu této kapitoly jsme zmínili pojem elektroakustika. Ta je podoborem akustiky a zabývá se vznikem, šířením a působením akustických signálů s využitím elektrického proudu. Také se záznamem signálů a jejich reprodukcí. Pro převod akustického signálu na elektrický se používají zařízení, kterým se říká elektroakustické měniče. Více o těchto měničích a jejich principech si něco povíme v kapitole 3 Elektroakustické měniče.

2.4 Zpětná vazba

Zpětná vazba jako taková je opět rozsáhlý pojem vyskytující se v mnoha oborech. Nás bude zajímat jak je to konkrétně v elektrotechnice a akustice. Můžeme říct, že zpětná vazba v elektrotechnickém oboru je spojení obvodových prvků, které umožňují přivedení část výstupního signálu zpět na vstup zesilovače, kde se superponuje k budoucímu signálu. To můžeme vidět na obrázku 2.1. Tímhle způsobem můžeme ovlivnit vlastnosti výstupního signálu, abychom zlepšili jeho vlastnosti (např. změnit charakteristické parametry zesilovače). Takto je zpětná vazba hojně využívána téměř ve všech elektronických systémech. Více můžeme najít v [2].



Obrázek 2.1: Blokové schéma soustavy se zpětnou vazbou

Rozlišujeme několik druhů zpětné vazby. Ať už podle veličiny, ze které je odvozen zpětnovazební signál na napěťovou a proudovou, nebo také podle způsobu propojení výstupních svorek zpětnovazebního obvodu a vstupních svorek zesilovače na sériovou a paralelní zpětnou vazbu. Nicméně pro naši potřebu bude nejdůležitější si něco víc povědět o zpětné vazbě kladné a záporné.

2.4.1 Kladná zpětná vazba

Kladná zpětná vazba je pro zesilovače nežadoucí. Zpětnovazební signál posílaný na vstup zesilovače způsobí další zvýšení výstupního signálu a tím pádem i zvětšení zkreslení signálu a větší nestabilitu zesilovače, což je nežadoucí. Proto se tenhle jev využívá u zpětnovazebních oscilátorů.

2.4.2 Záporná zpětná vazba

Záporná zpětná vazba udává přesný opak kladné zpětné vazby. Tzn. že zpětnovazební signál přiváděný na vstup snižuje hodnotu signálu na výstupu. I když u zesilovače vyžadujeme zesílení signálu, tak se u nich tato zpětná vazba přesto využívá. A to hlavně pro lepší stabilitu zesilovače, větší šířku přenášeného pásma, menší zkreslení a v neposlední řadě také lepší odstup signálu od šumu.[2]

2.5 Akustická zpětná vazba

Dalším odvětvím zpětné vazby a pro nás důležitým je akustická zpětná vazba. Tuto zpětnou vazbu můžeme v literatuře také najít pod pojmem "Larsenův efekt" podle dánského vědce Sörena Larsena, který jako první objevil tento princip. Jedná se o zvláštní druh kladné zpětné vazby, která nastává v okamžiku uzavření smyčky mezi reproduktorem a mikrofonem, kdy se část zvuku vycházejícího z reproduktoru dostává zpět do mikrofonu. Takhle to pokračuje tak dlouho, dokud se systém nezačne chovat jako oscilátor na daném kmitočtu. Podmínkou však pro tento jev je, aby zesílení zpětnovazební smyčky bylo větší než 1 (tzn. že signál přijímaný mikrofonem z reproduktoru je silnější než z originálního zdroje). Negativním projevem takovéto oscilace je tzv. „pískání“. To může být způsobeno nebo vyvoláno použitím velmi citlivých mikrofonů, při velkém zesílení reproduktorů nebo při malé vzdálenosti mezi mikrofonem a reproduktorem. Více informací v [3].

Existují případy, kdy eliminace Larsenova efektu není možná, a proto se snažíme nějakým způsobem akustickou zpětnou vazbu alespoň potlačit. Jedno z nejzákladnějších potlačení je dostat mikrofon mimo zvukový rozptyl reproduktoru, popř. zlepšení izolace mezi těmito dvěma zařízeními.

2.6 Hovorová souprava

Pod pojmem hovorová souprava si můžeme představit různá zařízení. Jak už samotný název napovídá, bude se jednat o soustavu, která obsahuje mikrofon a reproduktor. Tyto dvě části neodmyslitelně patří ke všelijakým dorozumívacím prostředkům, jako jsou třeba headsety používané ve vojenské technice, nebo různá hardwarová zařízení připojitelná k počítači. Také nesmíme zapomínat na telefony a domovní telefony, megafony, handsfree soupravy pro mobilní telefony a jiná další zařízení, se kterými se každodenně setkáváme. Jak už bylo zmíněno, nejdůležitějšími částmi hovorových souprav jsou mikrofony a reproduktory, kterým se odborně říká elektroakustické měniče.

3 Elektroakustické měniče

Elektroakustické měniče jsou soustavy, které mají schopnost zprostředkovat přeměnu elektrického signálu na mechanické kmity a naopak, respektive přeměnit elektrický proud nebo napětí na akustický signál a obráceně. K těmto změnám se používají různé principy. Podle provedení se tyto měniče rozdělují na elektrodynamické, elektromagnetické, elektrostatické, piezoelektrické, magnetostrikční a odporové. Dále je pak také můžeme rozdělit podle toho, zda pro svoji funkčnost vyžadují vnější zdroj napájení na aktivní a pasivní a v neposlední řadě také na jednostranné a reversibilní. Rozdíl mezi jednostranným a reversibilním elektroakustickým měničem je v tom, že princip reversibilního měniče můžeme použít jak pro mikrofon, tak i reproduktor, kdežto jednostranný princip můžeme použít pouze u jednoho druhu zařízení.[4] Pro lepší přehled a pochopení je níže uvedená tabulka 3.1.

Tabulka 3.1: Přehled hlavních principů elektroakustických měničů

	Aktivní	Pasivní
Reversibilní	Elektrodynamický Elektromagnetický Piezoelektrický	Elektrostatický
Jednostranné	Elektretový mikrofon	Odporový mikrofon Optoelektronický mikrofon

3.1 Základní principy elektroakustických měničů

Jak už jsme výše zmínili, principů přeměny akustického signálu na elektrický a naopak je mnoho. Tahle práce však není o elektroakustických měničích, takže si pro přehled popíšeme jen základní typy přeměn. Více informací můžeme najít v [5].

3.1.1 Elektromagnetický

Tento měnič pracuje na principu elektromagnetu, tzn. změny magnetického toku magneticky vodivými částmi. Tento magnetický tok se mění vlivem působení elektrického proudu protékající budící cívkou. Jestliže se měnič chová jako vysílač, vyvolává signální proud procházející cívkou pohyb vodivé membrány. V případě přijímače je membrána vychylována zvukovou vlnou, která způsobí indukování napětí v cívkě.

3.1.2 Elektrodynamický

Činnost elektrodynamického měniče je založena na principu vzájemného působení dvou magnetických polí. Jedno magnetické pole kolem sebe vytváří vodič a druhé tvoří permanentní

magnet. Jestliže tento měnič pracuje jako vysílač, tak jím prochází signální proud, čímž se vytvoří magnetické pole, a dochází k pohybu vodiče. V případě, že se měnič chová jako přijímač, dochází k pohybu vodiče v magnetickém poli vlivem působení akustického signálu, který na vodiči indukuje napětí. V přijímači i vysílači je vodič pevně spojen s membránou, proto je pohyb vodiče vždy totožný s pohybem membrány. Obecně můžeme říci, že tento princip je jedním z nejvíce používaných.

3.1.3 Elektrostatický

U tohoto měniče se využívá principu deskového kondenzátoru. Obsahuje tedy 2 elektrody o určité ploše a vzdálenosti, kde jedna elektroda je pevná a druhá pohyblivá. Pracuje-li měnič jako vysílač, je pohyblivá deska vychylována v závislosti na přiloženém signálovém napětí, které mění směr a velikost síly. Je-li měnič přijímačem pak dopadající zvuková vlna mění vzdálenost mezi elektrodami a tím i kapacitu kondenzátoru.

3.2 Mikrofony

Mikrofony jsou zařízení, která slouží ke snímání akustického signálu. Princip činnosti spočívá v tom, že dochází k rozechvívání membrány vlivem působení a změn akustického tlaku vzduchu. Membrána je spojena s elektromechanickým měničem, který díky vibracím membrány vyvolává proměnný elektrický proud. Ten se pak dále zpracovává v připojených elektrických obvodech.

Mikrofony mají různé tvary a funkce v závislosti na použití. Domácí mikrofony budou mít určité jiné vzhled a vlastnosti než třeba pódiové, nebo náhlavní (headsety). Tyto vlastnosti jsou rozhodující pro kvalitu zaznamenávaného nebo přenášeného signálu. Také musíme brát v úvahu různé vzduchové nárazy, které vznikají při vyslovování hlásek b, p, f. Proto jsou chráněny hustou mřížkou, která současně slouží jako čelní kryt mikrofonu. Mohou se na ni navlékat různé návleky, které tlumí šumění proudícího vzduchu, např. při nádechu.

Jak už bylo zmíněno, různé mikrofony mají různé vlastnosti, a ty si níže stručně popíšeme.

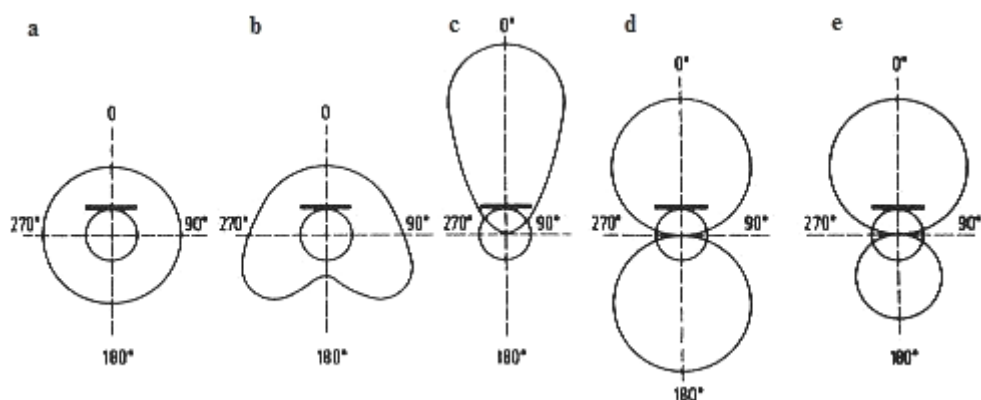
3.2.1 Základní vlastnosti mikrofonů

Citlivost:

Je poměr výstupního napětí mikrofonu a akustického tlaku, který toto napětí vybudil. Udává se v jednotkách [mV/Pa] a je možné ji vyjádřit také relativní hodnotou v dB.

Směrová charakteristika:

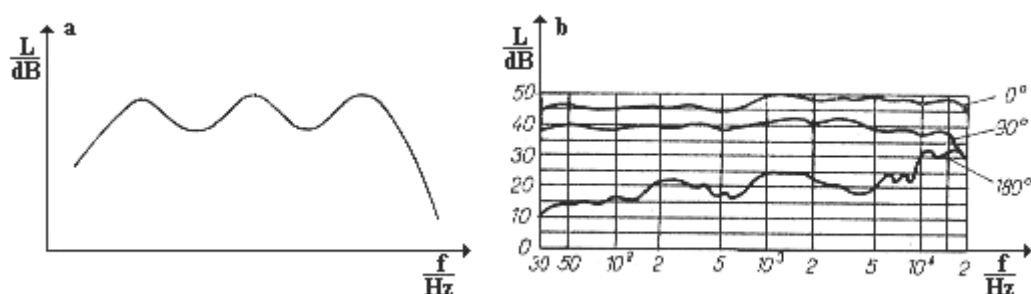
Je závislost citlivostí mikrofonu na úhlu, který svírá akustická osa mikrofonu s osou akustického zdroje (obrázek 3.1).



Obrázek 3.1: Směrová charakteristika: a) kulová, b) ledvinová, c) kuželová, d) osmičková, e) superledvinová

Frekvenční charakteristika:

Vyjadřuje frekvenční závislost výstupního napětí mikrofonu při konstantním budícím akustickém tlaku na frekvenci. Pro kvalitní záznam se požaduje rovnoměrná charakteristika pro interval frekvencí (40; 15000) Hz.[6] Příklad frekvenční charakteristiky vidíme na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Frekvenční charakteristika: a) uhlíkový mikrofon, b) dynamický mikrofon proměřený z různých stran - 0° zepředu, 90° z boku, 180° zezadu

Výstupní impedance:

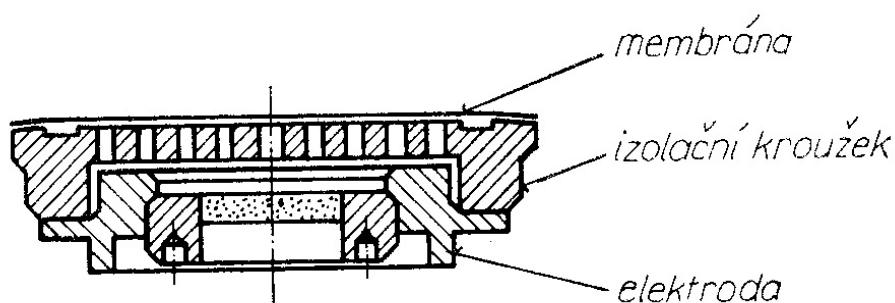
Tato impedance je změřená na jeho výstupních svorkách. Její hodnota je důležitá pro optimální připojení mikrofonu k zesilovači. Vstupní impedance zesilovače by měla být 5 - 10 krát větší než impedance mikrofonu. Zatížení mikrofonu příliš nízkou vstupní impedancí zesilovače má za následek zkreslení frekvenční charakteristiky a snížení poměru signálu k šumu.[6]

3.2.2 Provedení základních typů mikrofonů

Elektrostatický (kondenzátorový) mikrofon

Elektrostatické mikrofony využívají změny na kondenzátoru při změně jeho kapacity vlivem změny vzdálenosti desek způsobené akustickým tlakem při konstantním náboji na jeho deskách. Ke

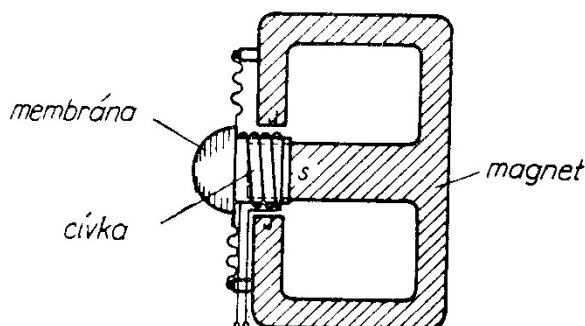
svému provozu potřebují stabilní stejnosměrné napájení. Vzdálenost mezi pevnou elektrodou a membránou je $15\text{ }\mu\text{m}$ až $40\text{ }\mu\text{m}$ v závislosti na typu. Kapacita dosahuje hodnot 30 pF až 100 pF . U tohoto typu mikrofonu se projevuje značná vnitřní impedance, a proto je nutné z pravidla do mikrofonu instalovat předzesilovač. Kondenzátorové mikrofony mají velkou citlivost a téměř nulové zkreslení a hlavně dobrou kmitočtovou charakteristiku i na vyšších kmitočtech, proto se považují za jedny z nejkvalitnějších a využívají se pro profesionální záznam a také pro měřicí účely. Řez vložkou kondenzátorového mikrofonu je uveden na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Řez vložkou kondenzátorového mikrofonu

Elektrodynamický mikrofon

Tyto mikrofony využívají cívku v magnetickém poli, kterou pohybuje membrána reagující na akustický tlak. Díky tomuto pohybu se v poli permanentního magnetu indukují napětí. Dynamické mikrofony jsou méně citlivé než kondenzátorové a tím pádem lépe zpracují hlasitý zpěv při živých vystoupeních. Bývají odolné proti mechanickému poškození a velkou výhodou je také i to, že ke své činnosti nevyžadují napájení. Princip vidíme na obrázku 3.4.

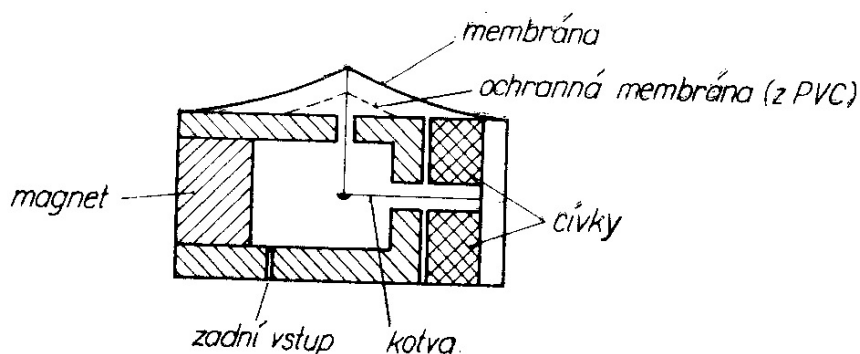


Obrázek 3.4: Princip elektrodynamického mikrofonu

Elektromagnetický mikrofon

Pracují na podobném principu jako elektrodynamické mikrofony s tím rozdílem, že mají pevnou cívku navinutou na permanentním magnetu. Magnetický tok přechází ze severního pólu

permanentního magnetu do jižního pólu. Výstupní napětí tohoto typu mikrofonu je úměrné pohybu kotvy mezi pólovými nástavci. Pohyb kotvy vyvolává změnu magnetického toku, který se uzavírá přes kotvu, a tím i změnu indukovaného napětí. Hlavními výhodami těchto mikrofonů je nízká cena a malé rozměry. Nicméně mají omezený kmitočtový rozsah přibližně od 300 Hz do 3,5 kHz. Princip tohoto mikrofonu můžeme vidět na obrázku 3.5.



Obrázek 3.5: Princip elektromagnetického mikrofonu

Elektretový mikrofon

Tento typ mikrofonů je velmi podobný elektrostatickému mikrofonu, kdy polarizace není realizována externím polarizačním napětím, ale je tvořena elektretem, což je nevodivá hmota, která zůstává permanentně elektricky nabitá. Přímo v mikrofonní kapsli je umístěn předzesilovač s vysokým vstupním odporem. Nevýhodou elektretového mikrofonu je velká hmotnost membrány nesoucí elektretový náboj. Tento typ mikrofonů se již kvalitou přibližuje kondenzátorovým mikrofonům při nízkých výrobních nákladech.

Výše popsané principy mikrofonů nejsou zdaleka všechny, nicméně pro základní přehled nám postačí. Existují i jiné druhy mikrofonů, jako jsou např. krystalové (piezoelektrické) mikrofony a díky velkému rozvoji optoelektroniky nesmíme zapomenout také na stále se rozvíjející optické mikrofony. Více informací můžeme najít v [4] a [7].

3.3 Reproduktory a sluchátka

Reproduktory a sluchátka jsou výstupními zařízeními systémů pro přenos zvuku. Jedná se v podstatě o elektroakustické měniče, fungující na principu přeměny elektrického signálu na mechanickou energii. Dochází tak ke kmitání membrány, která svým chvěním rozkmitá vzduch a tím vznikne zvukový (akustický) signál. Reprodukce zvukového signálu by se měla co nejvíce blížit signálu původnímu - zdroji signálu. To je důvod, proč nepostačuje pouze vytvářet výstupní zvukový signál s barvou a hlasitostí odpovídající originálnímu vstupnímu signálu, ale snaha přenášet také

informaci o prostorovém rozmístění zvuku - k tomu jsou konstruovány systémy se dvěma nebo více přenosnými kanály.

Reproduktory se skládají z membrány, která se ve většině případů vyrábí z plastu a papíru. Důležitou částí je také elektromagnet, do něhož je přiváděn vstupní signál. Nesmíme také zapomenout na doplnění různých pomocných mechanických obvodů, jako jsou např. ozvučnice a zvukovody. Sluchátka jsou zvláštním případem reproduktorů.

3.3.1 Základní vlastnosti reproduktorů

Nyní si pro přehled popíšeme základní vlastnosti reproduktorů. Tyto vlastnosti pro naši práci nejsou až tak důležité, proto se o nich více můžeme dozvědět v [4] a [6].

Frekvenční charakteristika:

Udává závislost hladiny akustického tlaku v určitém bodě před reproduktorem na frekvenci při konstantním napětí na svorkách reproduktoru. Měří se ve volném prostoru, tzn. v dostatečné vzdálenosti od reproduktoru. Jelikož pro kvalitní přenos (rozsah 30 Hz – 15000 Hz) nelze využít pouze jednoho reproduktoru, používají se reproduktory hloubkotónové, středotónové a vysokotónové a to proto, že každý typ se hodí více pro určité frekvenční pásmo. Pokud nám však nezáleží na kvalitě je možné použít i širokopásmové reproduktory (pro přenos řeči).

Z frekvenční charakteristiky se také odvíjí i zkreslení reproduktoru. Aby bylo zkreslení nulové, musela by být tato charakteristika ideálně rovná.

Jmenovitá impedance:

Je nejmenší absolutní hodnota elektrické impedance reproduktoru ve frekvenčním pásmu, pro které je určen. Jmenovitá impedance by v celém frekvenčním pásmu neměla klesnout o více než 20 % oproti udávané hodnotě, jinak dochází k přetížení.

Charakteristická citlivost:

Je průměrná hodnota efektivního akustického tlaku v daném frekvenčním pásmu v ose reproduktoru ve vzdálenosti jeden metr při standardním příkonu 1 VA. Znalostí této citlivosti se využívá při návrhu reproduktorových soustav.

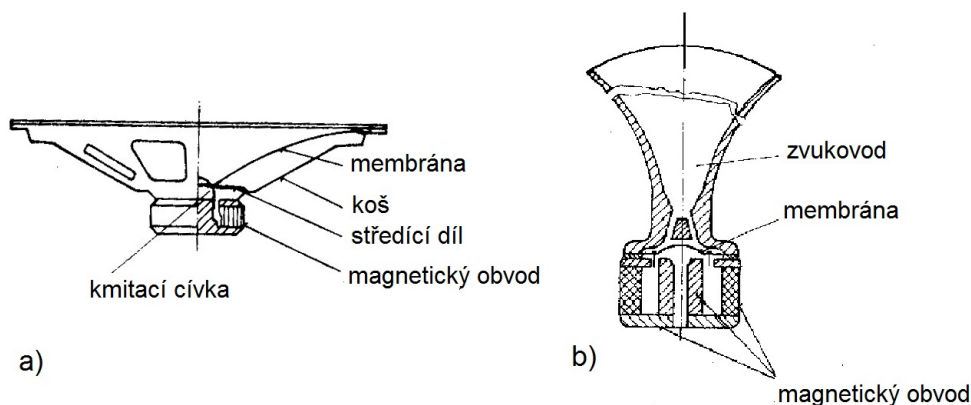
Účinnost:

Udává poměr vyzářeného akustického výkonu k elektrickému příkonu při optimálním výkonovém přizpůsobení. Bývá velmi malá (okolo 1 % - 5 %). Dá se zvětšit zúžením přenosového pásma, nicméně nemá moc velký význam, protože takto malá hodnota se kompenzuje zvýšením výkonu zesilovače.

3.3.2 Provedení základních typů reproduktorů:

Elektrodynamický systém (obrázek 3.6)

U tohoto systému rozlišujeme dva základní druhy, a to přímovyzářující a nepřímovyzářující. Základem je kmitající cívka, která je umístěná ve vzduchové mezeře magnetického obvodu. Horní pružný okraj membrány je upevněn k nosnému koši. Pístový pohyb membrány zajišťuje středící díl. Aby zkreslení bylo co nejmenší, musí membrána kmitat jako jeden celek. Účinnost přímovyzářujících reproduktorů je malá (3 % – 5 %) na rozdíl od nepřímovyzářujících, které pracují na stejném principu s tím, že membrána je na okolní prostor vázána přes zvukovod a pohybuje se v tlakové komůrce, ve které je uzavřený vzduch a ten tlumí pohyb membrány. Díky těmto úpravám mají tyto reproduktory vysokou účinnost pohybující se v rozmezí 30 % - 50 %.



Obrázek 3.6: Princip elektrodynamického reproduktoru:
a) přímovyzářující, b) nepřímovyzářující

Elektrostatický systém

Tento systém pracuje na principu vzájemného přitahování a odpuzování elektricky nabitých desek, podobně jako u elektrostatického mikrofону. I zde máme jednu elektrodu pevnou a jednu pohyblivou. Tenká membrána je umístěna proti pevné elektrodě ve velmi malých vzdálenostech. Mezi membránou a pevnou elektrodou je připojeno stejnosměrné polarizační napětí. Elektrostatické reproduktory se používají pro reprodukci vysokých tónů.

Elektromagnetický systém

Dnes už tolik nevyužíván, přesto se s ním setkáváme zejména v telefonních přístrojích a to z důvodů jednoduché konstrukce a omezenému frekvenčnímu rozsahu, který nám však v telefonním sluchátku dostačuje. Základem je membrána, kterou přitahuje elektromagnet nebo magnet umístěný v poli budicí cívky, který pohybuje s membránou.

4 Domovní komunikační systém

Nyní už známe základní pojmy, jejichž znalosti budeme při návrhu potřebovat. Dále pak už také víme co to je hovorová souprava, jaké základní prvky by měla obsahovat a v neposlední řadě jsme schopni říct, jaké jsou základní principy elektroakustických měničů a přeměny akustického signálu na elektrický a naopak.

Jelikož náš návrh hlasité hovorové soupravy se bude týkat návrhu domovního telefonu určeného pro domovní komunikační systém, povíme si základní informace týkající se právě těchto domovních komunikačních systémů.

4.1 Systémy domovních telefonů

Systémy domovních telefonů slouží především k hlasové, popřípadě i vizuální komunikaci mezi dvěma nebo více místy v objektu.[8] Takovým objektem může být rodinný dům, nemocnice, kancelářské budovy, ale také bytové domy s několika bytovými jednotkami. Hlavní funkcí těchto systémů je tedy zvýšit komfort a v neposlední řadě také bezpečnost objektů.

Systémy domácích telefonů instalované na území České republiky jsou z více než 90 % systémy „4+n“. To znamená, že svislý rozvod je veden čtyřmi funkčními vodiči (mikrofon, sluchátko, společný vodič a vedení el. zámku). Písmeno „n“ nám říká počet telefonů v domovním systému. Nicméně systémy „4+n“ nejsou jediné. Dále se můžeme setkat také s plně digitálními dvouvodičovými systémy, které se vyznačují svou nízkou poruchovostí a nižšími požadavky na kabeláž. V minulosti byly digitální systémy výrazně dražší, a proto se moc nepoužívaly. Dnes už však jsou mnohem výhodnější a to díky menším nákladům na kabeláž.

Návrh hovorové soupravy, který budeme provádět, se bude týkat převážně bytových domů. Pro tyto domy tedy zkonstruujeme jednoduchý prototyp domovního telefonu, zajišťující komunikaci mezi hlavními vstupními dveřmi objektu (nazýváme někdy také vrátný) a interiéry jednotlivých bytů.

4.2 Hlavní součásti systémů domovních telefonů

4.2.1 Napaječ

Slouží k napájení systémů domácích telefonů. Hlavními prvky napaječe ve většině případů jsou transformátor a usměrňovač. Střídavé napětí je používáno převážně na ovládání elektrických zámků a pro vyzvánění. Napaječe v dnešní době mohou mít i integrovaný tónový generátor sloužící pro melodické vyzvánění, tzn. že mohou generovat i více melodii vyzvánění.

U bytových domů se můžou používat i dvougenerátorové napaječe u nichž je první tón použit pro vyzvánění od vstupních domovních dveří a druhý pak pro vyzvánění od bytů.

4.2.2 Zvonkový panel

Je zařízení, které bývá osazováno u vstupních domovních dveří bytových, případně i nebytových objektů. Hlavní funkcí je umožnit příchozímu zazvonit na zvonek konkrétního uživatele bytu a poté oboustranně hlasově komunikovat. Moderní panely umožňují i vizuální komunikaci. Je to jeden z nejpodstatnějších částí domovních systémů. Jedním z nejdůležitějších faktorů je odolnost proti mechanickému porušení.

Součástí zvonkových panelů mohou být i kódové zámky pro otevírání dveří, čtečky kontaktních nebo bezkontaktních médií a u těch dražších také biosensorické snímače.

4.2.3 Domovní telefon

Je elektronické zařízení umístěné uvnitř bytů nebo nebytových prostor, které slouží k akustické signalizaci od zvonkového panelu, hlasové komunikaci s příchozím a k ovládání elektrického dveřního zámku.[8] Důležitým předpokladem pro domovní telefony je jejich kvalita, aby se nám nestalo, že telefony začnou pískat, že uslyšíme sousedy, popř. aby nás šlo slyšet u zvonkového panelu.

4.2.4 Elektrický zámek

Je elektromechanické zařízení, které je osazeno jako protikus dveřního zámku. Máme několik druhů zámků. Standartní elektrický zámek může otevřít dveře pouze když je napájen. Dale pak máme inverzní zámek, který otevírá dveře, jakmile je na něm přerušeno napětí. U elektrického zámku s aretací je ovládání řízeno jedním impulsem a čeká se do chvíle, než jsou dveře fyzicky otevřeny.

Dalším druhem zámku je zámek elektromechanický. Ten se na rozdíl od klasického zámku instaluje přímo do dveřního křídla. Často bývá kombinován se speciálním bezpečnostním kováním.

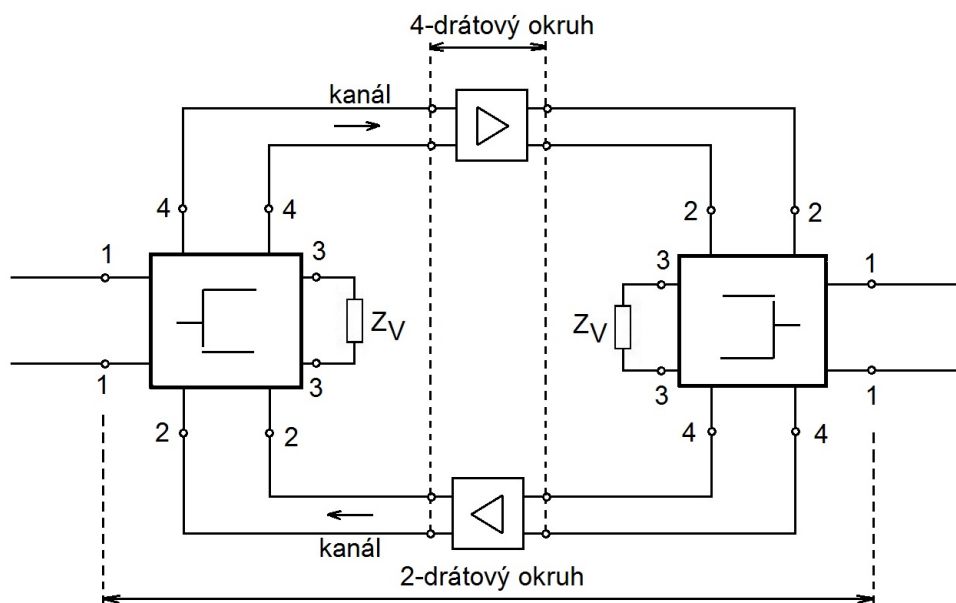
4.2.5 Elektronická výhybka

Je zařízení, které je používané pro přepínání dvou nebo více zvonkových panelů. Nejčastějším využitím je obytný dům, který má přední a zadní vstup. Elektronická výhybka automaticky vyhodnotí, ze kterého panelu je veden požadavek pro připojení k telefonu umístěném v bytě a podle toho zajistí otevření správných dveří.

5 Telekomunikační vidlice

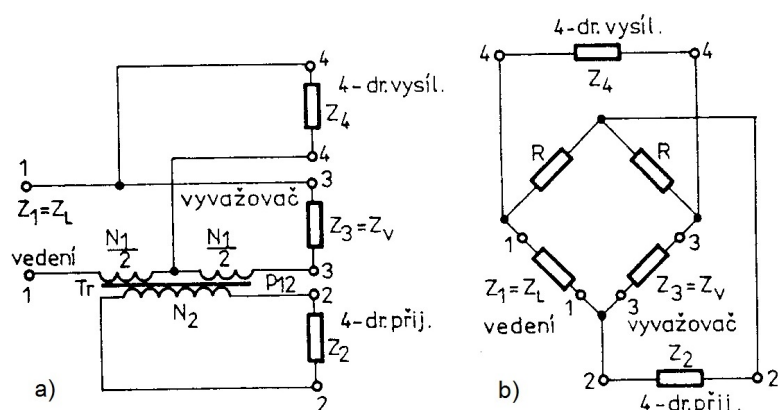
O elektronických výhybkách, jinak také nazývaných vidlice, padla malá zmínka v předcházející kapitole. Bylo řečeno, že slouží k přepínání dvou nebo více zvonkových panelů. Jinak řečeno, slouží k oddělení směrů provozu. Jelikož tématem této práce je nějakým způsobem potlačit akustickou zpětnou vazbu v hovorových soupravách, nápadem bylo tedy použít jednoduchou vidlici i pro náš domovní telefon, kdy se budeme snažit oddělit provoz a tím i potlačit akustickou zpětnou vazbu. Jeden směr provozu bude probíhat z mikrofonu telefonu do zvonkového panelu, kde část signálu půjde také i do reproduktoru telefonu. Druhým směrem bude přenos ze zvonkového panelu do reproduktoru telefonu. Abychom blíže pochopili princip telekomunikačních vidlic, povíme si něco stručně k teorii, která se dá najít také v [9].

Telekomunikační vidlice jsou jedním z nejzákladnějších dílů nízkofrekvenční techniky. Jejich hlavní funkcí je rozdělení 2 drátového vedení na 4 drátové a naopak. Tím se docílí oddělení směrů provozu, což vidíme na obrázku 5.1, kde je znázorněno použití vidlice obousměrného zesilovače. Kromě použití v zesilovačích bývají také i jako součásti přenašečů, které umožňují spolupráci přenosového systému s telefonní ústřednou.



Obrázek 5.1: Principiální schéma rozdělení směru provozu pomocí telekomunikační vidlice

Telekomunikační vidlice můžeme rozdělit podle provedení na transformátorové a odporové (obrázek 5.2), dále pak podle útlumu přenosových směrů na symetrické a nesymetrické a v neposlední řadě také podle impedance na svorkách na vidlice s impedančně symetrickým a nesymetrickým vstupem.



Obrázek 5.2: Telekomunikační vidlice: a) transformátorová, b) odporová

Na obrázku 5.2a vidíme jednotransformátorovou symetrickou vidlici s nesymetrickým vstupem. Jestliže se impedance vedení a vyvažovací impedance rovnají (5.1), pak musí platit i (5.2). Tyto vidlice se impedance symetrizují tak, že se polovina primárního vinutí mezi dolními svorkami 1 - 3 rozdělí i mezi horní svorky 1 - 3.

$$Z_V = Z_L \quad (5.1)$$

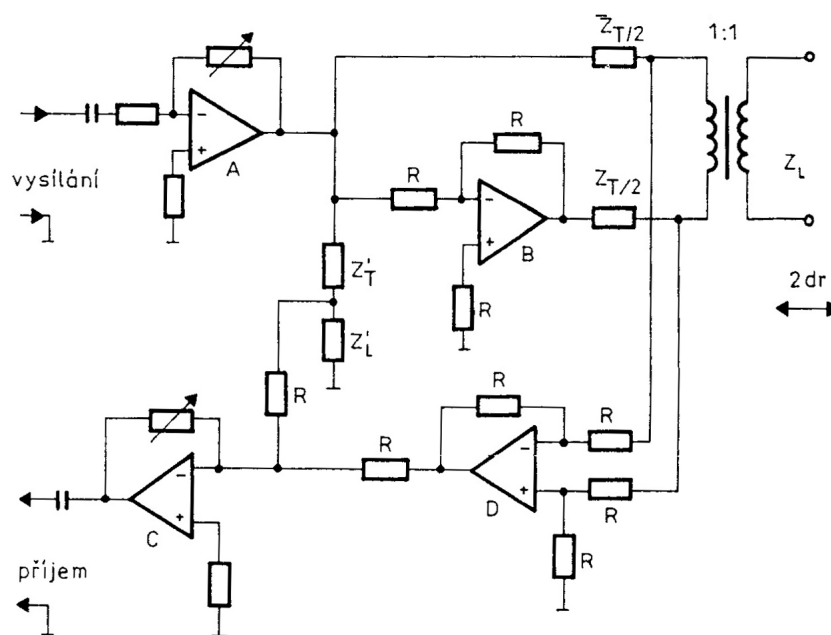
$$Z_2 = \frac{2Z_V}{p_{12}^2} [\Omega] \quad \text{kde } p_{12} \text{ je impedance převod transformátoru Tr, a } Z_4 = \frac{Z_V}{2} [\Omega] \quad (5.2)$$

Obrázek 5.2b nám znázorňuje jednoduchou symetrickou odporovou vidlici. Jak je vidět z tohoto obrázku, nejedná se o nic jiného, než odporový můstek. Aby byl můstek vyvážený a přivedený signál na svorky 2 - 2 se dostal na svorky 1 - 1 musí platit níže uvedené podmínky (5.3), jinak by se nám signál dostal na svorky 4 - 4. Proto tedy jsou nutné vyvažovací odpory R.

$$\frac{R}{R} = \frac{Z_L}{Z_V} \quad Z_V = Z_L \quad Z_2 = Z_4 = R \quad (5.3)$$

Odporové vidlice jsou mnohem jednodušší než transformátorové, nicméně kvalitativně jsou horší, protože mají větší útlum a neposkytují možnost galvanického oddělení.

Transformátorové a odporové vidlice jsou pasivními obvody, které se hojně realizovaly pro přechod 2 drátového vedení na 4 drátové v typickém telefonním obvodu. Nicméně v dnešní době nabízí elektronika zapojení umožňující připojení dvou oddělených směrů přenosu na 2 drátovém vedení. Příkladem takového obvodu je aktivní elektronická vidlice (obrázek 5.3).



Obrázek 5.3: Telekomunikační elektronická vidlice

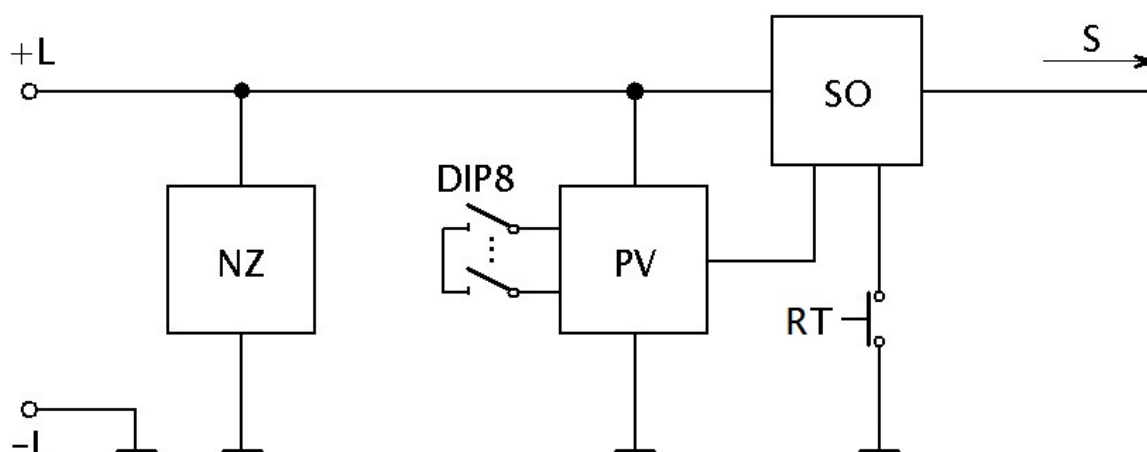
Přes zesilovač A je vstupní signál ve vysílacím směru přiveden do zátěže $Z_T + Z_L$. Na impedanci Z_L vzniká signál, který postupuje přes transformátor do vedení. Přijímaný signál z vedení je přiveden přes operační zesilovače D a C do přijímacího směru. Na zesilovač C je přiveden vysílací signál s otočenou fází o 180° a to z důvodu eliminace vlastního vysílaného signálu. Tím se tyto signály navzájem vyruší. Aby k tomu došlo, musí mít obě složky vysílacího signálu stejnou úroveň. Tím se docílí splnění podmínky (5.4). [9]

$$\frac{Z_T}{Z_L} = \frac{Z_T'}{Z_L'} \quad (5.4)$$

6 Návrh domovního telefonu

Jak jsme zjistili v předcházející kapitole, máme několik hlavních součástí domovních systémů, ať už to bylo napájení, elektronická výhybka nebo zvonkový panel. Můžeme říct, že každá část domovního systému tvoří samostatnou kapitolu a tudíž by se dala napsat o každé z nich samostatná práce. Jak už bylo několikrát zmíněno, v této bakalářské práci se však zaměříme na kompletní návrh jediné části domovního systému a tím bude návrh domovního telefonu.

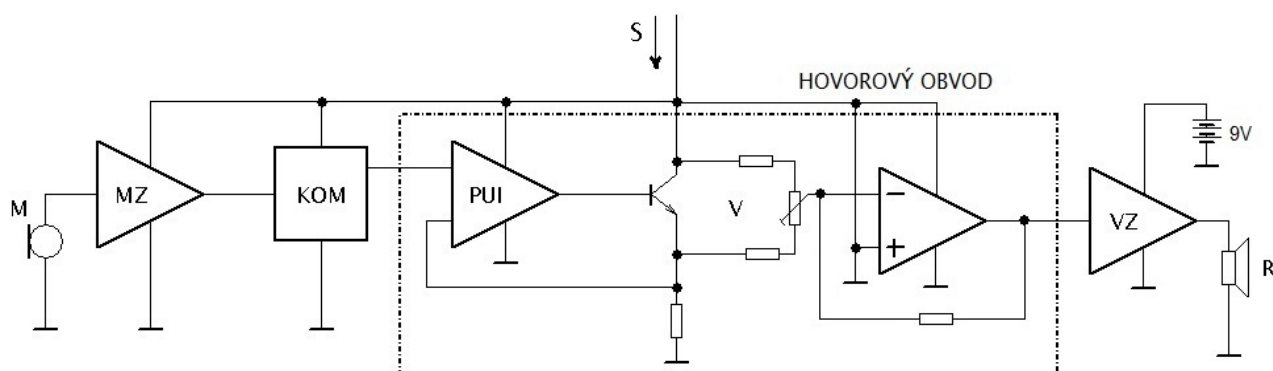
Nejprve si musíme uvědomit, z čeho se musí takový domovní telefon skládat, aby mohl správně fungovat. Pro přehlednost si rozdělíme návrh na 2 části, a to funkční část a hovorovou část. Začneme popisem funkční části. Předpokládáme, že na vstupní svorky telefonu je přivedeno linkové napájecí napětí označené „+L“ a „-L“. Každý telefon by také měl mít svůj vlastní napájecí zdroj. Další velice důležitou částí je tzv. přijímač volby, neboli obvody pro adresaci jednotlivých telefonů v domovním systému. Každý telefon musí mít odlišnou adresu. Díky ní se pak účastník hovoru, který se nachází u zvonkového panelu dokáže spojit s požadovaným bytem. Jakmile už víme, kam bude hovor směřovat, musí být jako součást telefonu také spínací obvody, které aktivují spojení. K těmto spínacím obvodům je pak přidělováno tlačítko, které bude sloužit ke krátkodobému rozpojení spojení, aby došlo k přerušení linky, a tím i otevření dveří. Funkční část blokového schéma je uveden na obrázku 6.1.



Obrázek 6.1: Blokové schéma funkční části domovního telefonu: NZ) Napájecí zdroj, PV) Přijímač volby s DIP8 přepínačem, SO) Spínací obvody, RT) Rozpojovací tlačítko

Další části telefonu už budou patřit do tzv. hovorové části (obrázek 6.2). Každá hovorová souprava musí mít elektroakustické měniče (mikrofon, reproduktor) a ani tato nebude výjimkou. Signál přicházející do mikrofону musí být zesílen a následně také upraven. Upravený hovorový signál budeme posílat jednak k domovnímu panelu, aby nás druhý účastník hovoru slyšel, a také nesmíme zapomenout část signálu přivést i do reproduktoru. Jelikož zvuk se nám může z reproduktoru vracet

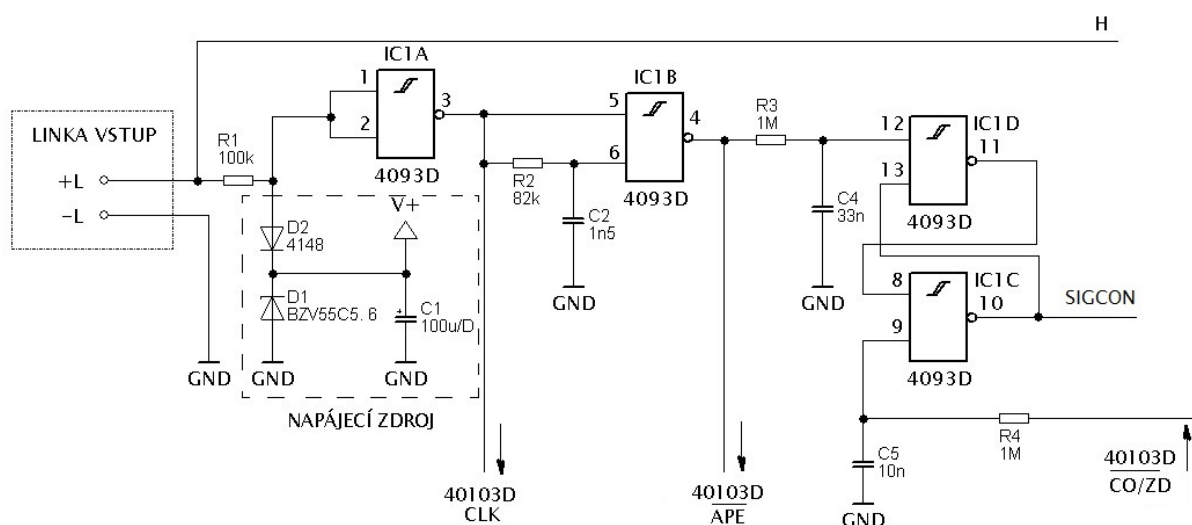
zpátky do mikrofону, může také vznikat akustická zpětná vazba. A tu v našem návrhu telefonu potlačíme další důležitou částí, a tou bude elektronická vidlice. Ta bude také sloužit k oddělení směru provozu (mikrofon – zvonkový panel, zvonkový panel – reproduktor). Nyní už zbývá jediná část a tou bude výkonový zesilovač reproduktoru, který bude sloužit k úpravě a zesílení přijímaného signálu, ať už ze zvonkového panelu nebo ze sluchátkového mikrofону.



Obrázek 6.2: Blokové schéma hovorové části domovního telefonu: M) Mikrofon, MZ) Mikrofonní zesilovač, KOM) Obvod úpravy signálu (kompresor), PUI) Převodník U/I, V) Elektronická vidlice, VZ) Výkonový zesilovač, R) Reproduktor

6.1 Přijímač volby s DIP8 přepínačem

Jednou z nejdůležitějších částí při návrhu domovního telefonu je tzv. přijímač volby, který slouží k adresování jednotlivých telefonů v domovním systému. Samotnou adresaci budeme provádět pomocí přepínače DIP8 a integrovaného obvodu 40103D. Přijímač volby můžeme pro přehlednost rozdělit na 2 části, logickou a adresovací. Na obrázku 6.3 můžeme vidět logickou část a na obrázku 6.4 část adresovací.



Obrázek 6.3: Zapojení logické části přijímače volby

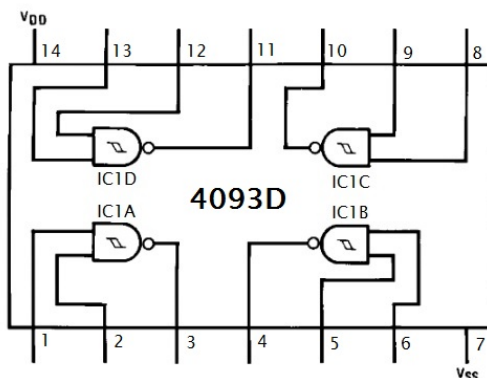


6.1.1 Schmittovy klopné obvody

Dalo by se říct, že Schmittovy klopné obvody, které jsme si označili v našem návrhu IC1A a IC1B nejsou v podstatě nic jiného než logická hradla NAND. Jejich pravdivostní tabulka (tabulka 6.1) je níže uvedena. Hradla IC1C a IC1D tvoří pak RS klopný obvod.

X1 (A)	X2 (B)	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

K napájecímu zdroji máme tedy připojenou logickou část tvořenou čtyřmi Schmittovými klopnými obvody, které jsou zakomponovány v jednom integrovaném obvodu s označením 4093D. Vnitřní zapojení toho obvodu je na obrázku 6.5.



Obrázek 6.5: Vnitřní zapojení integrovaného obvodu 4093D

6.1.2 Integrovaný obvod 40103D

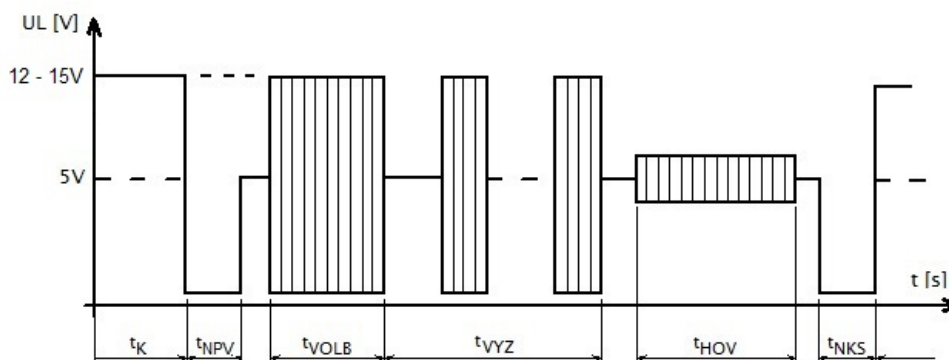
Integrovaný obvod 40103D je osmibitový reversní čítač s jedním výstupem, který se aktivuje tehdy, když dojde k vynulování čítače. Tento signál zůstává aktivní po celou dobu jeho vynulování. Dále pak obsahuje 8 vstupních pinů označených jako P0 – P7 sloužící pro zadávání binární kombinace dekadického čísla. Těmito vstupy se čítač nastavuje. Dále má tento integrovaný obvod pin pro vstupní signál hodinového impulsu a další 2 piny pro volbu synchronního nebo asynchronního režimu. Maximálním napětím, kterým tento obvod můžeme napájet je 7 V.[10] I z tohoto důvodu jsme použili 5V napájecí zdroj místo 12 – 15 V, které by nám jinak dodávala linka na vstupních svorkách a tím by došlo ke zničení tohoto obvodu. Obvod včetně popisu jednotlivých pinů vidíme na obrázku 6.6.

		PIN	POPIS
CLK	1	16	VCC
CLEAR	2	15	SPE
CI/CE	3	14	CO/ZD
P0	4	13	P7
P1	5	12	P6
P2	6	11	P5
P3	7	10	P4
GND	8	9	APE
		1	HODINOVÝ VSTUP
		2	RESET (AKTIVNÍ LOW)
		3	POVOLENÍ VSTUPU (AKTIVNÍ LOW)
		4–7	JAM VSTUP P0–P3
		8	ZEM
		9	ASYNCHRONNÍ VSTUP (AKTIVNÍ LOW)
		10–13	JAM VSTUP P4–P7
		14	VÝSTUP ČÍTAČE (AKTIVNÍ LOW)
		15	SYNCHRONNÍ VSTUP (AKTIVNÍ LOW)
		16	NAPÁJENÍ

Obrázek 6.6: Integrovaný obvod 40103 s popisy jednotlivých pinů

6.1.3 Popis funkce obvodu přijímání volby

Ještě než začneme popisovat funkci celého přijímače volby, musíme si naznačit jak vypadá časový průběh napětí na lince. Ten vidíme na obrázku 6.7. Tento průběh generuje zvonkový panel.



Obrázek 6.7: Časový průběh napětí na lince

V klidovém stavu, když se na lince nic neděje, je napětí 12 V – 15 V. Pro přehlednost toto napětí budeme označovat jako vysokou úroveň signálu H. Jakmile se u zvonkového panelu objeví uživatel a začne zadávat volbu pro dovolání se k příslušnému bytu, úroveň signálu nám na nějakou dobu poklesne na nízkou úroveň, kterou označíme jako L. V tuto chvíli dochází k nastavování všech reversních čítačů v domovním systému. Nyní se nám uplatní právě již zmiňovaný přepínač DIP8 jak vidíme na obrázku 6.4. Jinak řečeno, pomocí tohoto přepínače nastavujeme každému telefonu v domovním systému svou jednoznačnou adresu.

Čítače máme nastavené a nyní přichází na řadu série impulsů, které odpovídají zadávané adrese. Právě v této chvíli dochází k odečítání nastavené hodnoty na integrovaném obvodu 40103D. Přijde-li na tento obvod tolik pulsů kolik má nastavenou adresu, čítač se vynuluje a dochází k aktivaci výstupního pinu, tzn. úroveň napětí na tomto pinu nám poklesne na L. To je přivedeno na vstup RS klopného obvodu tvořený Schmittovými logickými členy IC1C a IC1D. Výsledkem je tedy aktivace výstupního signálu obvodu přijímání volby označeného jako SIGCON (obrázek 6.3). Tento signál pak dále přivádí do chodu spínací obvody.

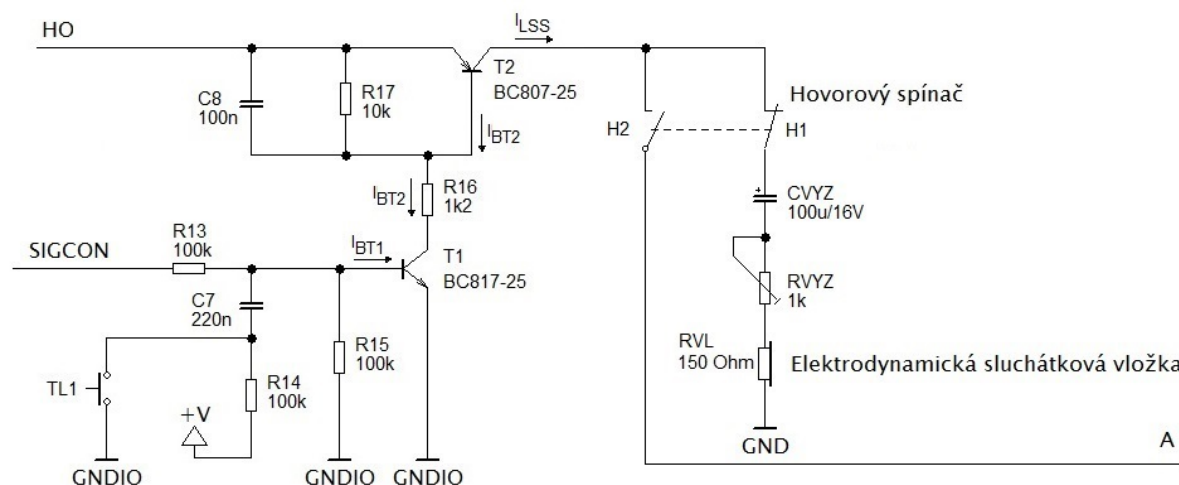
Po adresaci telefonu následují vyzváněcí impulsy a poté samotný hovor. Po ukončení hovoru přijde delší signál s úrovní L, který nám nastaví na lince výchozí klidový stav.

Při kontrole adresy může nastat situace, kdy dojde k vynulování čítače, i když jeho nastavená adresa neodpovídá adrese zadávané na číslicovém panelu (impulsy stále přicházející na vstup odpovídající adrese jiné). Víme, že výstupní signál je aktivní pouze tehdy, je-li čítač vynulován. Díky dalším přicházejícím impulsům čítač tzv. přeteče a začne čítat od své nejvyšší možné hodnoty. Nicméně i během této krátké chvílky, kdy je hodnota čítače nulová, dojde ke změně výstupního stavu,

což je nežádoucí a musíme tento jev potlačit. Proto je do logické části návrhu zakomponován RC člen (odpor R4 a kondenzátor C5). Zde se využívá přechodového jevu, kdy při krátké změně výstupního signálu obvodu 40103D nedojde k překlopení RS klopného obvodu a tudíž signál SIGCON zůstává nezměněn a spínací obvody neaktivní. Přechodových jevů dále využíváme i v případě Schmittových klopných obvodů IC1B (odpor R2 a kondenzátor C2) a IC1D (odpor R3 a kondenzátor C4).

6.2 Spínací obvod

Spínací obvody jsou určeny pro aktivaci spojení a uzavření smyčky hovorového okruhu. Nejdůležitějšími částmi tohoto obvodu jsou 2 tranzistory označeny T1, T2 a hovorový spínač s elektrodynamickou sluchátkovou vložkou, jak vidíme na obrázku 6.8.



Obrázek 6.8: Schéma zapojení spínacího obvodu

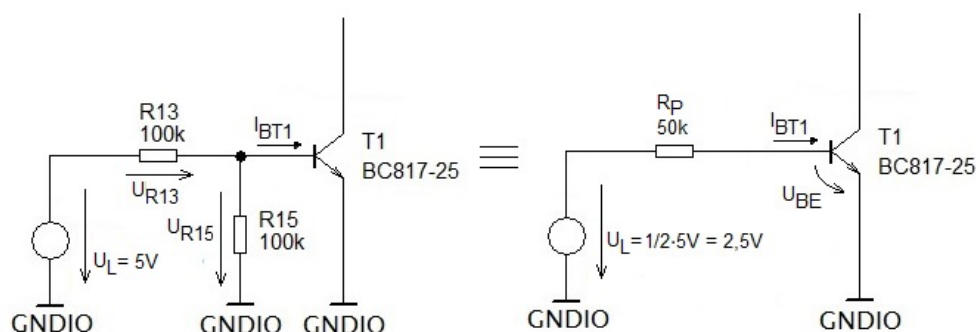
Oba tranzistory T1 a T2 jsou v klidovém stavu uzavřené, tzn. že na vstupu označeném HO, není žádný hovorový signál a vstup SIGCON má nízkou úroveň L. Jakmile však dojde k ověření adresy obvodu přijímání volby a signál SIGCON se zvedne na úroveň H, začne být na tomto vstupu napětí 5 V. Do báze tranzistoru T1 začne téct proud I_{BT1} , který tento tranzistor naplní otevře. Aby byl tranzistor plně otevřený, musí platit podmínka (6.1), kde I_{BT2} je proud tekoucí z báze tranzistoru T2 a parametr h_{21E} je proudový zesilovací činitel tranzistoru, který najdeme v katalogu produktu. Kolektorový proud tranzistoru T1 je vlastně proud tekoucí z báze tranzistoru T2. Aby byl i tranzistor T2 plně otevřený, musí opět platit obdobná podmínka (6.2) jako v předešlém případě.

$$I_{BT1} \geq \frac{I_{BT2}}{h_{21E}} \geq \frac{1\text{mA}}{100} \geq 10\mu\text{A} \quad (6.1)$$

$$I_{BT2} \geq \frac{I_{LSS}}{h_{21E}} \geq \frac{100\text{mA}}{100} \geq 1\text{mA} \quad (6.2)$$

Nicméně abychom měli nějakou rezervu, budeme počítat s extrémními hodnotami. Tzn. že si nejprve zvolím proud I_{LSS} . Tento proud nám poteče do hovorového obvodu a jeho hodnota bude 70 mA. Jelikož počítáme s extrémem kvůli rezervě, tak si klidně můžeme pro výpočet určit proud I_{LSS} jako 100 mA. Katalogový proudový zesilovací činitel h_{21E} se pohybuje v rozmezí od 160 do 400. V našem případě zvolíme tedy pro jistotu 100. Můžeme dosadit do vzorce (6.2) a vypočítat hodnotu proudu I_{BT2} . Tento proud dosadíme do vzorce (6.1), kde použijeme proudový zesilovací činitel, který je opět 100.

Návrh odporů rezistorů ve spínacím obvodu volíme tak, aby nám vyhovovaly výše zmíněné podmínky (6.1) a (6.2). Proto jsme zvolili hodnotu odporů R13 a R15 na 100 kΩ. Abychom si ověřili, že nám při přechodu signálu SIGCON do vyšší úrovně H tekl obvodem právě požadovaný proud, navrhne si náhradní schéma, které vidíme na obrázku 6.9.



Obrázek 6.9: Náhradní schéma spínacího obvodu pro ověření bázevého proudu I_{BT1}

$$I_{BT1} = \frac{U_L - U_{BE}}{R_P} = \frac{2,5\text{V} - 0,65\text{V}}{50\text{k}\Omega} = 37\mu\text{A} \quad (6.3)$$

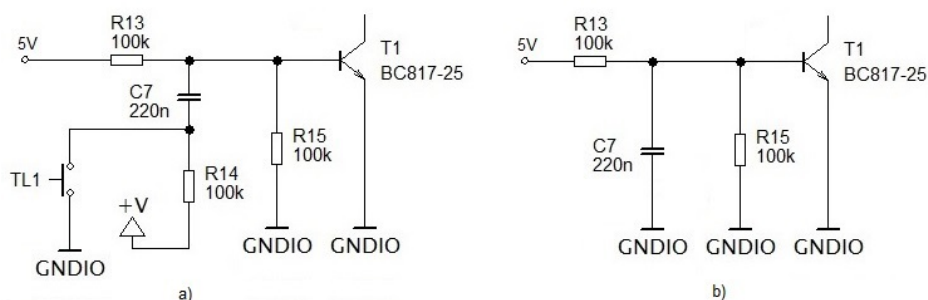
V náhradním schématu máme zdroj stejnosměrného signálu o velikosti 5 V, jehož napětí se rozdělí mezi odpory R13 a R15, které jsou zapojeny paralelně a tvoří rovnoměrný dělič napětí. Napětí U_{BE} jsme zvolili 0,65 V, což je standartní hodnota přechodu báze - emitor tranzistoru T1. Proto můžeme vypočítat bázevý proud tranzistoru podle vzorce (6.3) a porovnat se vzorcem (6.1). Jak můžeme vidět, podmínku jsme splnili a při vysoké úrovni H signálu SIGCON bude tranzistor T1, a tím pádem i tranzistor T2 plně otevřený a hovorový signál na vstupu projde do hovorového obvodu.

Jakmile máme spínací tranzistory sepnuty, tak následuje série vyzváněcích impulsů, které generuje zvonkový panel. Tyto impulsy přicházejí přes spínač, kondenzátor CVYZ a proměnný odpor

RVYZ do elektrodynamické sluchátkové vložky, ve které se bude vyzváněcí signál ozývat, dokud nepřijde volaný účastník a nestiskne hovorový spínač H1. Tím rozeptne obvod se sluchátkovou vložkou a zároveň aktivuje hovorový spínač H2, který sepne spojení mezi účastníky a může začít probíhat konverzace. Během hovoru je však nutno spínač držet do té doby, než dojde ke stisku tlačítka TL1. Proměnný odpor RVYZ slouží k nastavení hlasitosti vyzvánění a jeho velikost si zvolíme. Hodnotu kondenzátoru CVYZ určíme ze vztahu (6.4), kde dolní přenášený kmitočet volím 10 Hz a odpor R je dán součtem odporu sluchátka a odporu proměnného odporu, který nastavíme na 100 Ω.

$$CVYZ = \frac{1}{2\pi \cdot f_D \cdot (RVYZ + RVL)} = \frac{1}{2\pi \cdot 10\text{Hz} \cdot 250\Omega} = 63,66 \mu F \rightarrow \text{volíme } 100 \mu F \quad (6.4)$$

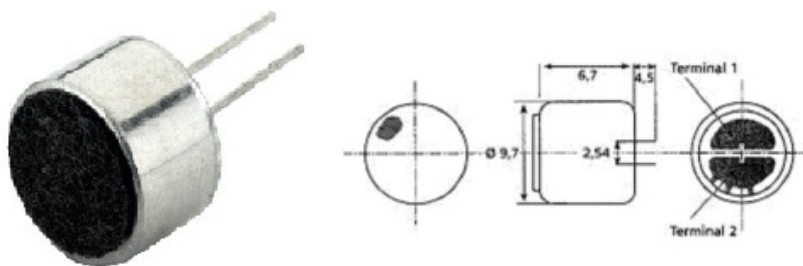
Jak už bylo řečeno, další důležitou částí spínacího obvodu je tlačítko TL1 pro otevírání dveří. Hlavním úkolem tohoto tlačítka je na určitou dobu uzavřít tranzistor T1 a tím pádem i T2 a způsobit tak chvilkové rozpojení spojení, které otevře vchodové dveře domu. Rozpojení bude trvat tak dlouho, dokud se kondenzátor C7 nevybíje. Doba vybíjení je určena časovou konstantou $\tau = RC$. Na obrázku 6.10 vidíme schéma obvodu s tlačítkem před a po stisknutí.



Obrázek 6.10: Schéma části obvodu s tlačítkem: a) před stisknutím, b) po stisknutí

6.3 Mikrofon

Nyní přikročíme k návrhu obvodu s mikrofonom k telefonnímu přístroji. Důležitým parametrem při návrhu mikrofону je si určit šířku přenášeného pásma. Jelikož navrhujeme domovní telefon, určíme si frekvenční rozsah podle standartního telefonního pásma, které je 300 Hz – 3400 Hz.



Obrázek 6.11: Elektretový mikrofon MCE-100

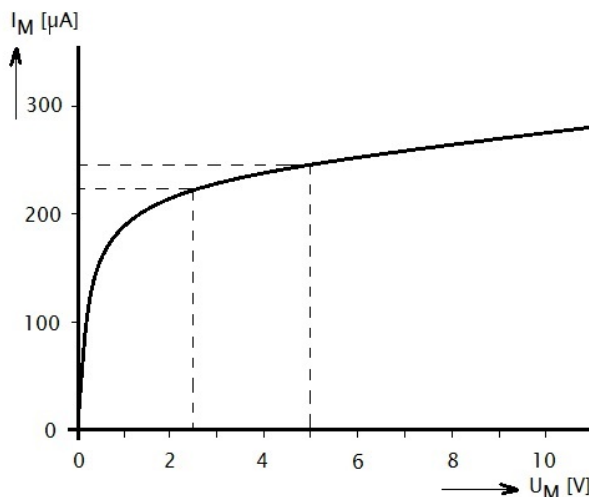
Proto jsme si při návrhu vybrali elektretový mikrofon MCE-100 (obrázek 6.11), jehož frekvenční rozsah, který garantuje výrobce je 50 Hz – 10 kHz. Abychom přenesli hovorový signál, je tedy tento mikrofon více než dostačující. Všechny důležité technické parametry můžeme vidět v níže uvedené tabulce 6.2.

Tabulka 6.2: Technické parametry elektretového mikrofonu MCE-100

Frekvenční rozsah	50 ÷ 10000 Hz
Citlivost	5,6 mV / Pa / 1 kHz
Výstupní impedance	2 kΩ
Odstup signál/šum	> 34 dB
Spotřeba	< 0,5 mA
Vazební kondenzátor	0,1 ÷ 4,7 μF
Pracovní teplota	0 ÷ +40°C

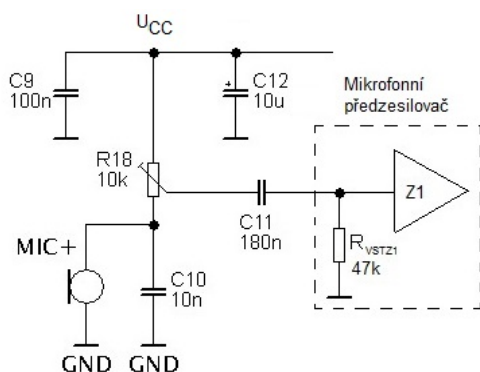
6.3.1 Návrh obvodových prvků mikrofonu

Předtím, než přikročíme k návrhu jednotlivých součástek patřících k mikrofonu, musíme zjistit, jak se nám chová napětí a proud mikrofonu. K tomu poslouží V-A charakteristika, kterou vidíme na obrázku 6.12.

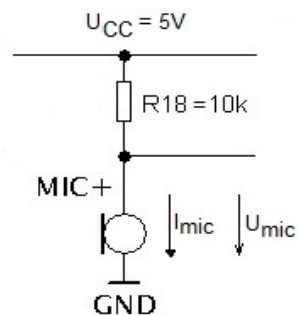


Obrázek 6.12: V-A charakteristika elektretového mikrofonu MCE-100

Z výše uvedeného obrázku můžeme odečíst, že pro naše napájecí napětí 5 V bude proud mikrofonu odpovídat cca 250 μA. Nicméně na našem mikrofonu díky odporu R18 budeme mít napětí nižší asi o polovinu. To nám však nevadí, protože proud tekoucí mikrofonem bude hodně podobný, což nám také říká právě V-A charakteristika. Jednotky μA už nebudou hrát příliš velkou roli, proto budeme počítat po celou dobu s již zmiňovaným proudem 250 μA. Nyní si už můžeme načrtnout zapojení mikrofonu a navrhnout součástky. Schéma vidíme na obrázku 6.13.



Obrázek 6.13: Schéma zapojení mikrofonu MCE-100



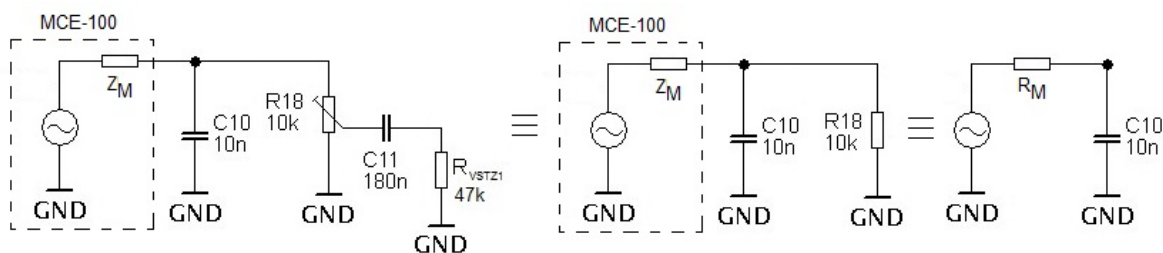
Obrázek 6.14: Schéma pro nastavení ss pracovního bodu mikrofonu MCE-100

Nejprve zapojíme obvod pro nastavení stejnosměrného pracovního bodu pro výpočet proměnného odporu R18 (obrázek 6.14). Proměnný jsme zvolili z toho důvodu, abychom mohli signál doladovat pro naši potřebu. Napětí na tomto odporu volím jako polovinu napájecího napětí. Druhá polovina napětí se nám objeví na mikrofonu. Postup výpočtu odporu R18 máme uvedený níže (6.5).

$$R18 = \frac{0,5 \cdot U_{CC}}{I_{mic}} = \frac{0,5 \cdot 5V}{250\mu A} = 10 k\Omega \quad (6.5)$$

$$I_{mic} \rightarrow \text{odvozeno z } V - A \text{ charakteristiky} \rightarrow I_{mic} = 250 \mu A$$

Když už známe hodnotu odporu R18, můžeme přikročit k návrhu kondenzátoru C10. Tento kondenzátor nám bude sloužit jako filtr pro ořezání vysokých frekvencí jdoucích z mikrofonu. Abychom mohli zjistit hodnotu kondenzátoru C10, musíme si schéma překreslit pro návrh střídavého signálu (obrázek 6.15).



Obrázek 6.15: Schéma zapojení pro nastavení obvodu mikrofonu pro střídavý signál

Mikrofon samotný můžeme nahradit jako zdroj střídavého signálu, který má svou vnitřní impedanci odpovídající impedanci mikrofonu Z_M . Dále pak můžeme z obvodu vypustit vazební kondenzátor C11, který nehraje roli protože kondenzátor C10 navrhujeme pro vysoké kmitočty, kdežto vazební kondenzátor C11 bude navržen pro potlačení nízkých kmitočtů. Víme že vstupní odpor R_{VSTZ1}

má být několikrát (10 krát) větší, než výstupní odpor mikrofonu, proto si ho také můžeme dovolit odstranit. Když se podíváme na prostřední schéma obrázku 6.15 vidíme, že impedance mikrofonu Z_M a odpor R18 jsou spolu zapojeny paralelně. Proto si z nich můžeme spočítat odpor R_M (6.6) a následně i hodnotu kondenzátoru C10 (6.7). Při výpočtu tohoto kondenzátoru vezmeme jako mezní frekvenci horní mezní frekvenci mikrofonu, což je 10 kHz.

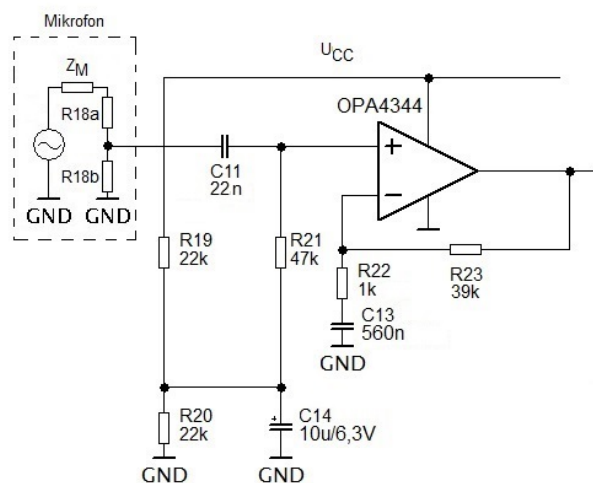
$$R_M = \frac{R18 \cdot Z_M}{R18 + Z_M} = \frac{10 \text{ k}\Omega \cdot 2 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega} = 1,67 \text{ k}\Omega \quad (6.6)$$

$$C10 = \frac{1}{2 \pi f_H \cdot R_M} = \frac{1}{2 \pi 10 \text{ kHz} \cdot 1,67 \text{ k}\Omega} = 9,53 \text{ nF} \rightarrow \text{volíme } 10 \text{ nF} \quad (6.7)$$

Nyní nám už zbývá určit si hodnoty kondenzátorů C9 a C12. Ty slouží k filtrování napájecího napětí od rušivých vlivů. Jejich hodnoty jsou zvoleny podle experimentálního odzkoušení. Vazební kondenzátor C11 budeme navrhovat v další kapitole, protože budeme využívat znalosti vstupního odporu předzesilovače.

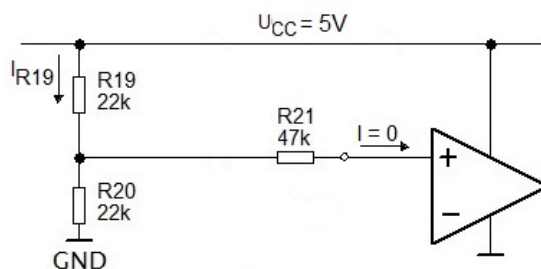
6.4 Mikrofonní předzesilovač

Po návrhu mikrofonu přikročíme tedy k návrhu mikrofonního předzesilovače. Schéma zapojení vidíme na obrázku 6.16.



Obrázek 6.16: Schéma zapojení mikrofonního předzesilovače

Mikrofonní předzesilovač budeme realizovat pomocí operačního zesilovače OPA4344. Vstupní napětí budeme volit jako polovinu napájecího napětí. Nejprve tedy vypočítáme hodnoty odporů R19 a R20. Načtneme si tedy schéma pro nastavení stejnosměrného pracovního bodu. To vidíme na obrázku 6.17.



Obrázek 6.17: Schéma zapojení mikrofonního předzesilovače pro nastavení stejnosměrného pracovního bodu

Pro návrh odporů R19 a R20 si můžeme zvolit operační zesilovač jako ideální, tzn. že proud tekoucí do jeho vstupu je nulový a napětí mezi jednotlivými vstupy je také roven nule. Takže proud procházející odporem R19 bude stejný i pro odpor R20. Jelikož budeme chtít mít vstupní napětí rozdělené na poloviny, můžeme říct, že odpory R19 a R20 budou stejně velké. Použijeme tedy Ohmův zákon (6.8), kdy celkový odpor R je dán součtem odporu R19 a R20 a proud jimi protékající si zvolíme na 0,1 mA.

$$R_{19,20} = \frac{U_{CC}}{I_{R19}} = \frac{5V}{0,1mA} = 50k\Omega \rightarrow R19 = R20 = \frac{50k\Omega}{2} = 25k\Omega \rightarrow \text{volíme } 22k\Omega \quad (6.8)$$

Velikost odporů R19 a R20 máme tedy 22 kΩ. Dále musíme určit hodnotu vstupního odporu R21. Tu volíme tak, aby byla minimálně 10 krát větší, než je výstupní odpor mikrofonu R_{VM} . Na obrázku 6.16 můžeme vidět, že výstupní odpor mikrofonu se skládá z vnitřní impedance mikrofonu Z_M a proměnného odporu R18, který si rozdělíme na 2 menší odpory, každý o poloviční velikosti. Výsledný výstupní odpor mikrofonu je dán vztahem (6.9). Proto si náš vstupní odpor R21 mikrofonního předzesilovače volíme na 47 kΩ (6.10).

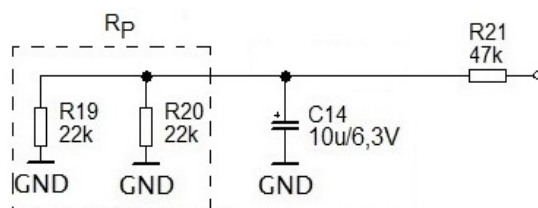
$$R_{VM} = \frac{(Z_M + R18a) \cdot R18b}{Z_M + R18a + R18b} = \frac{(2k\Omega + 5k\Omega) \cdot 5k\Omega}{2k\Omega + 5k\Omega + 5k\Omega} = 2,92k\Omega \quad (6.9)$$

$$R21 > 10 \cdot R_{VM} \rightarrow R21 > 10 \cdot 2,92k\Omega \rightarrow R21 > 29,2k\Omega \rightarrow \text{volíme } 47k\Omega \quad (6.10)$$

Jakmile známe vstupní odpor, můžeme spočítat hodnotu vazebního kondenzátoru C11. To provádíme podle vzorce (6.11), kdy známe vstupní odpor a také dolní frekvenci přenášeného pásma, kterou však musíme podělit odmocninou ze čtyř, protože v obvodu máme čtyři vazební kondenzátory.

$$C_{11} = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{f_D}{\sqrt{4}} \cdot R21} = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{300Hz}{\sqrt{4}} \cdot 47k\Omega} = 22,57nF \rightarrow \text{volíme } 22nF \quad (6.11)$$

Nyní přikročíme k návrhu filtračního kondenzátoru C14. Pro výpočet použijeme náhradní schéma, které máme na obrázku 6.18.



Obrázek 6.18: Náhradní schéma pro výpočet hodnoty kondenzátoru C14

Výpočet hodnoty kondenzátoru C14 provádíme pomocí znalosti reaktance X_{C14} . Abychom mohli reaktanci vypočítat, musíme si uvědomit jaké podmínky mají být splněny (6.12). Reaktance musí být 50 ÷ 100 krát menší než hodnota paralelního zapojení odporů R19 a R20 označená jako R_p (6.13) a zároveň reaktance také musí být 50 ÷ 100 menší než velikost vstupního odporu operačního zesilovače R21.

$$X_{C14} < \frac{R_p}{50 \div 100} \wedge X_{C14} < \frac{R21}{50 \div 100} \quad (6.12)$$

$$R_p = \frac{R19 \cdot R20}{R19 + R20} = \frac{22k\Omega \cdot 22k\Omega}{22k\Omega + 22k\Omega} = 11k\Omega \quad (6.13)$$

Výsledný odpor paralelního zapojení odporů R19 a R20 vyšel 11 kΩ, tudíž můžeme určit hodnotu reaktance. To uděláme tak, že vydělím hodnotu odporu R_p číslem 100 (6.14). Následně pak už určí kapacitu kondenzátoru podle známého vzorce (6.15), kde kmitočet volím jako dolní mezní frekvenci hovorového přenášeného pásma, což je 300 Hz.

$$X_{C14} = \frac{R_p}{100} = \frac{11k\Omega}{100} = 110\Omega \quad (6.14)$$

$$C_{14} = \frac{1}{2\pi \cdot f_D \cdot X_{C14}} = \frac{1}{2\pi \cdot 300\text{Hz} \cdot 110\Omega} = 4,82 \mu F \rightarrow \text{volíme } 10 \mu F \quad (6.15)$$

6.4.1 Určení zesílení mikrofonního předzesilovače

Posledním bodem mikrofonního předzesilovače bude navrhnout odpory R22 a R23, které nám budou určovat zesílení. Abychom zjistili jak velké zesílení budeme potřebovat, musíme si určit jaký elektrický signál U_{GM} nám vniká na mikrofonu při působení akustického tlaku. K tomu je zapotřebí znát citlivost mikrofonu C_{MIC} a tlak p , jaký bude na mikrofon působit. Katalogová hodnota citlivosti pro náš elektretový mikrofon je 5,6 mV/Pa a akustický tlak si volíme dle [4] 1 Pa, což je jmenovitá úroveň akustického tlaku. Nyní můžeme vypočítat velikost generovaného napětí (6.16).

$$U_{GM} = C_{MIC} \cdot p = 5,6 mV / Pa \cdot 1 Pa = 5,6 mV \quad (6.16)$$

Zjistili jsme tedy jaké napětí bude generovat mikrofon a nyní přistoupíme k volbě odporů. Rezistor R22 si zvolíme 1 k Ω a podle toho dopočítáme rezistor R23. Jelikož operační zesilovač máme zapojen v neinvertujícím režimu, tak platí pro zesílení následující vztah (6.17). Hodnotu zesílení si zvolíme na 40. Tato hodnota odpovídá napětí cca 200 mV na výstupu mikrofonního předzesilovače, pro které je hovorový obvod navrhován.

$$A_{OZ1} = 1 + \frac{R23}{R22} \rightarrow R23 = A_{OZ1} - 1 \cdot R22 = 40 - 1 \cdot 1\text{k}\Omega = 39\text{k}\Omega \quad (6.17)$$

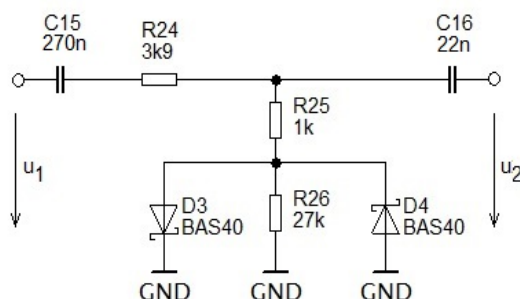
Posledním návrhem v této kapitole bude návrh blokovacího kondenzátoru C13. Použijeme již známý vzoreček (6.18), kde dolní mezní frekvenci beru dolní frekvenci hovorového pásma (300 Hz) a připojený odpor k tomuto kondenzátoru R22.

$$C_{13} = \frac{1}{2\pi \cdot f_D \cdot R22} = \frac{1}{2\pi \cdot 300\text{Hz} \cdot 1\text{k}\Omega} = 530,51\text{ nF} \rightarrow \text{volíme } 560\text{ nF} \quad (6.18)$$

6.5 Kompresní obvod

Po mikrofonním předzesilovači následuje další důležitý obvod, a to obvod komprese signálu. Takový obvod slouží k potlačení dynamiky signálu z mikrofonu, v našem případě z mikrofonního předzesilovače, v pásmu hovorových kmitočtů (300 Hz – 3400 Hz). Potlačení dynamiky je potřebné pro vyrovnání hlasitosti reprodukce, protože každý člověk má jiný hlas, jinou dynamiku a ne všichni budou mluvit do mikrofonu ze stejné vzdálenosti (někdo bude mít mikrofon dál od úst, někdo blíže).

Existuje více druhů kompresních obvodů. Jedním z nich je tzv. slabikový kompresor, jehož komprese signálu je pozvolnější a dochází k menšímu zkreslení. Na druhou stranu je tento kompresor náročnější na sestavení a odzkoušení. Proto jsme použili tzv. mžikový kompresor (jinak označovaný jako omezovač signálu), který má sice větší zkreslení signálu, ale je velice jednoduchý a pro naše účely dostačující. Jelikož pracujeme jen s hovorovým frekvenčním pásmem, tak nám v domovním telefonu větší zkreslení nebude vadit, protože se tento přístroj každodenně používá maximálně řádově v minutách. Na obrázku 6.19 vidíme jak takové zapojení mžikového kompresoru vypadá.



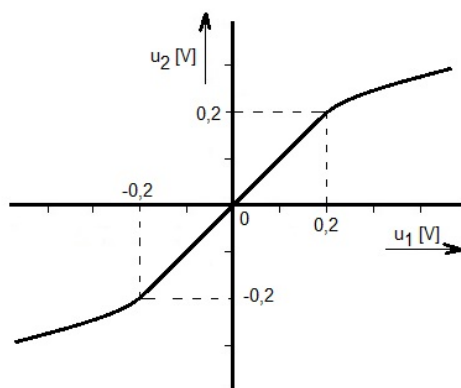
Obrázek 6.19: Schéma zapojení mžikového kompresoru

Principem mžikového kompresoru jsou 2 Schottkyho diody BAS40 zapojené v propustném a závěrném směru. Tyto diody se na rozdíl od klasických křemíkových otevírají při menším napětí (0,2 V ÷ 0,3 V) a doba za kterou mohou být přepnuty z vodivého do nevodivého stavu jsou řádově jednotky ns.

Návrhy jednotlivých odporů jsme prováděli experimentálně, tzn. že odpory R24, R25 a R26 jsme si zvolili podle potřeby, aby nám komprese co nejvíce vyhovovala. Vycházeli jsme z předpokladu (6.19), kdy diody jsou zavřené, protože vstupní napětí je menší, než otevírací napětí diody (0,2 V) a z předpokladu (6.20), kdy je vstupní napětí větší, než otevírací napětí diod a tím pádem se diody otevírají a rezistor R26 se tedy nevyužije. Jak taková charakteristika průběhu vstupního a výstupního napětí mžikového kompresního obvodu vypadá vidíme na obrázku 6.20.

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{R25 + R26}{R24 + R25 + R26} \text{ kde } u_1 < 0,2 \text{ V} \quad (6.19)$$

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{R25}{R24 + R25} \text{ kde } u_1 > 0,2 \text{ V} \quad (6.20)$$



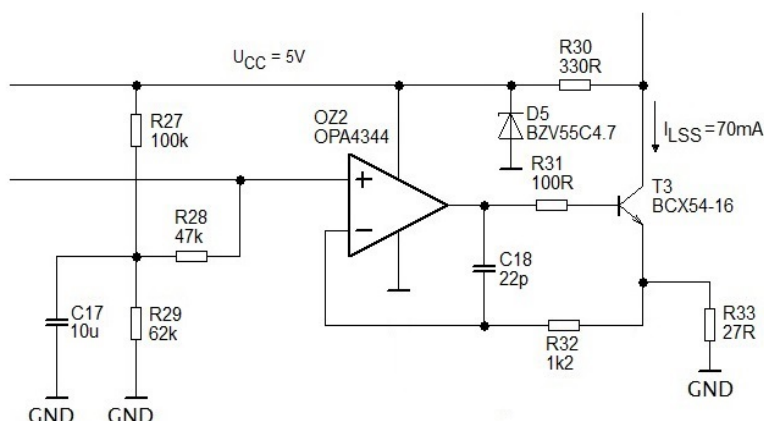
Obrázek 6.20: Závislost výstupního napětí na vstupním mžikového kompresoru

Nyní můžeme určit vazební kondenzátor C15. K tomu musíme znát hodnotu vstupního odporu kompresního obvodu a dolní frekvenci přenášeného pásma, kterou opět vydělíme odmocninou ze čtyř z důvodu čtveřice vazebních kondenzátorů v obvodu. Výpočet vidíme níže (6.21).

$$C_{15} = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{f_D}{\sqrt{4}} \cdot R24} = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{300\text{Hz}}{\sqrt{4}} \cdot 3,9\text{k}\Omega} = 272,05\text{ nF} \rightarrow \text{volíme } 270\text{ nF} \quad (6.21)$$

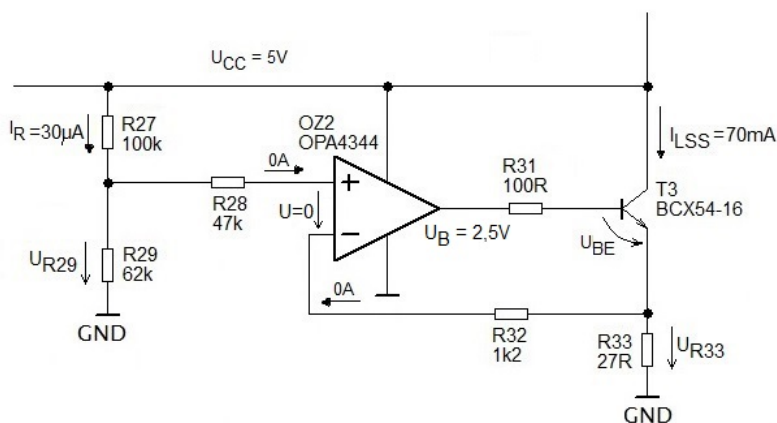
6.6 Převodník U/I

Dalším důležitým prvkem v našem telefonním přístroji je tzv. převodník napětí/proud, neboli zdroj proudu řízený napětím. V odborné literatuře se můžeme také setkat s názvem transkonduktanční zesilovač. Na obrázku 6.21 máme schéma zapojení našeho převodníku U/I.



Obrázek 6.21: Schéma zapojení převodníku U/I

Abychom mohli spočítat hodnoty odporů R27, R28 a R29 musíme si naše schéma překreslit pro nastavení stejnosměrného pracovního bodu (obrázek 6.22).



Obrázek 6.22: Schéma pro nastavení stejnosměrného pracovního bodu převodníku U/I

Nejprve navrhne odpor R33. K tomu si ale musíme nejprve spočítat napětí na tomto odporu. A to určíme jednoduše dle (6.22), když víme, že napětí na výstupu operačního zesilovače (napětí báze tranzistoru) vůči zemi chceme mít 2,5 V a přechod báze-emitor tranzistoru má standardní hodnotu 0,65V. Jelikož pro návrh používáme ideální operační zesilovač, tak můžeme říct, že do jeho invertujícího vstupu neteče žádný proud. Tedy veškerý proud označený $I_{LSS} = 70\text{mA}$, který jsme si zvolili, teče právě odporem R33. Pak tedy můžeme vypočítat jeho hodnotu z ohmova zákona (6.23).

$$U_{R33} = U_B - U_{BE} = 2,5\text{ V} - 0,65\text{ V} = 1,85\text{ V} \quad (6.22)$$

$$R33 = \frac{U_{R33}}{I_{LSS}} = \frac{1,85\text{ V}}{70\text{ mA}} = 26,5\ \Omega \rightarrow \text{volíme } 27\ \Omega \quad (6.23)$$

Další na řadě jsou odpory R27 a R29. Tyto odpory tvoří dělič napětí a musíme jejich hodnotu určit tak, aby napětí mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem operačního zesilovače bylo nulové. Víme, že napětí na odporu R33 bude také na invertujícím vstupu a tím pádem i na odporu R29. Napájecí napětí máme zvoleno na 5 V. Nyní nám zbývá si určit, jaká bude velikost klidového proudu I_R , který bude protékat oběma rezistory R27 a R29. Jeho hodnotu jsme si zvolili jako 30 μA . Známe všechny potřebné údaje, a tak jsme si mohli spočítat celkovou velikost odporů R27 a R29 (6.24), které jsou zapojeny sériově. Pomocí vzorečku pro dělič napětí (6.25) jsme si následně mohli spočítat hodnotu rezistoru R29 (6.26). Rezistor R27 určíme jednoduchým odečtením celkového odporu a odporu rezistoru R29. (6.27)

$$R27 + R29 = \frac{U_{CC}}{I_R} = \frac{5\text{ V}}{30\ \mu\text{A}} = 166,67\text{ k}\Omega \quad (6.24)$$

$$\frac{U_{R33}}{U_{CC}} = \frac{R27}{R27 + R29} \quad (6.25)$$

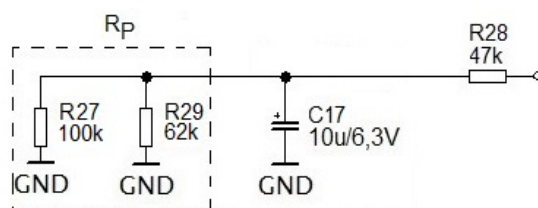
$$R29 = \frac{U_{R33}}{U_{CC}} \cdot R27 + R29 = \frac{1,85\text{ V}}{5\text{ V}} \cdot 166,67\text{ k}\Omega = 61,67\text{ k}\Omega \rightarrow \text{volíme } 62\text{ k}\Omega \quad (6.26)$$

$$R27 = (R27 + R29) - R29 = 166,67\text{ k}\Omega - 61,67\text{ k}\Omega = 104,87\text{ k}\Omega \rightarrow \text{volíme } 100\text{ k}\Omega \quad (6.27)$$

Vstupní odpor označený jako R28 si volíme. Musí však platit pravidlo, aby byl tento odpor minimálně 10 krát větší než výstupní odpor předcházejícího členu. V našem případě kompresního obvodu. Výstupní odpor kompresoru se pohybuje okolo 1 k Ω . Proto jsme si zvolili odpor R28 na 47 k Ω . Tím jsme si udělali rezervu a pravidlo o určení vstupního odporu platí.

Když se podíváme na obrázek 6.21, tak zjistíme, že nám zbývá určit hodnoty odporů R30, R31, R32 a kondenzátory C17 a C18. Rezistor R30 slouží jako předřadný rezistor ke stabilizační Zenerově diodě D5. Jeho hodnotu máme určenou experimentálně stejně jako odpory R31 a R32, které jsou zapojeny v obvodu k vůli stabilitě. Stejně tak slouží pro lepší stabilitu kondenzátor C18. Jediné, co si z těchto součástek musíme určit je filtrační kondenzátor C17. Použijeme obdobný postup jako při návrhu filtračního kondenzátoru u mikrofonního předzesilovače. Musíme si nakreslit náhradní schéma (obrázek 6.23), kde reaktance kondenzátoru C17 musí splňovat podmínky (6.28). Proto vypočítáme paralelní kombinaci odporů R27 a R29 (6.29). Výsledek vydělíme hodnotou 100 (6.30) a dosadíme do

vzorce pro výpočet kondenzátoru C17 (6.31). Výslednou hodnotu si zvolíme opět výrazně vyšší z důvodu rezervy.



Obrázek 6.23: Náhradní schéma pro výpočet hodnoty kondenzátoru C17

$$X_{C17} < \frac{R_P}{50 \div 100} \wedge X_{C17} < \frac{R28}{50 \div 100} \quad (6.28)$$

$$R_P = \frac{R27 \cdot R29}{R27 + R29} = \frac{100k\Omega \cdot 62k\Omega}{100k\Omega + 62k\Omega} = 38,27 k\Omega \quad (6.29)$$

$$X_{C17} = \frac{R_P}{100} = \frac{38,27 k\Omega}{100} = 382,7 \Omega \quad (6.30)$$

$$C_{17} = \frac{1}{2\pi \cdot f_D \cdot X_{C17}} = \frac{1}{2\pi \cdot 300\text{Hz} \cdot 382,7 \Omega} = 1,38 \mu F \rightarrow \text{volíme } 10 \mu F \quad (6.31)$$

Jako poslední určíme hodnotu vazebního kondenzátoru C16 (6.32). Návrh provádíme obdobně jako návrhy vazebních kondenzátorů v předcházejících kapitolách.

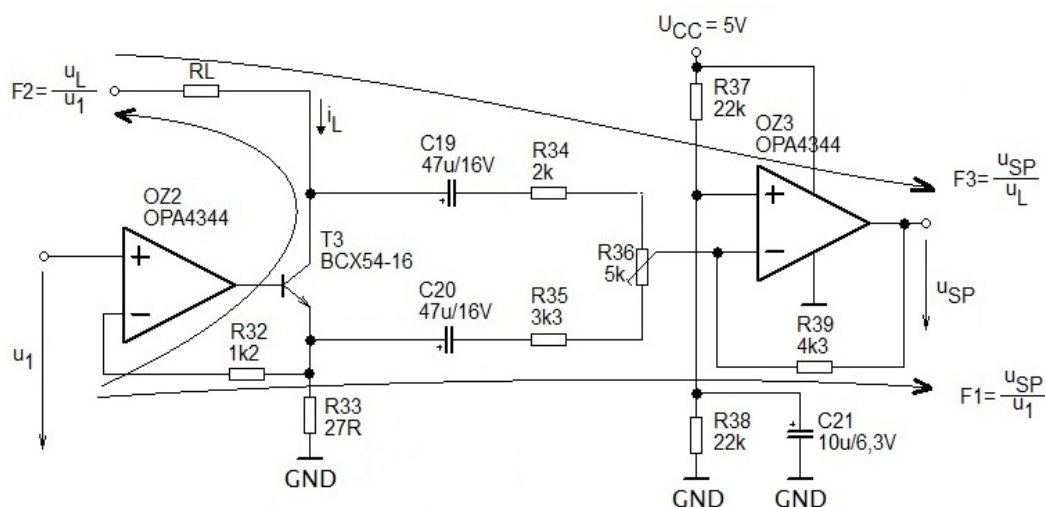
$$C_{16} = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{f_D}{\sqrt{4}} \cdot R28} = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{300\text{Hz}}{\sqrt{4}} \cdot 47k\Omega} = 22,57 nF \rightarrow \text{volíme } 22 nF \quad (6.32)$$

6.7 Vidlice

Telekomunikační vidlice je nejdůležitější částí naší hovorové soupravy. Je to prostředek pro potlačení akustické zpětné vazby. Dále pak bude sloužit k oddělení směrů provozu. Toho si můžeme všimnout na obrázku 6.24, kde je naznačeno schéma zapojení, včetně šipek jednotlivých směrů přenosu.

Jak si můžeme vidět, budou pobíhat tři přenosy. První z nich bude přenos F3, kdy signál bude přicházet od zvonkového panelu (linky), přes vidlici do výkonového zesilovače a reproduktoru. Dalšími zbývajících dvěma přenosy F1 a F2 se nám bude signál od mikrofону dostávat jak ke zvonkovému panelu, tak také do reproduktoru. Část jdoucí do reproduktoru by nám způsobovala akustickou zpětnou vazbu, a proto je zde použita vidlice tvořená rezistory R33, R34, R35 a RL, což je odpor vedení, který bude růst v závislosti na vzdálenosti jednotlivých bytů v domovním systému od

zvonkového panelu. Abychom tento odpor mohli určit, budeme potřebovat znát odpor kabeláže, která bude v domovním systému nainstalována.



Obrázek 6.24: Schéma zapojení telekomunikační vidlice včetně naznačených přenosů

6.7.1 Kabeláž pro určení odporu vedení

Jako kabeláž k domovnímu systému jsme si vybrali kabel s označením J-Y(ST)Y, což je instalační kabel s měděným jádrem o průměru 0,6 mm vhodný pro rozvody ve sdělovací technice nebo pro uložení pod omítku s PVC izolací žil a pláštěm a s elektrostatickým stíněním. Výrobce uvádí jeho maximální odpor smyčky 130 Ω /km. Kapacity tohoto kabelu jsou zanedbatelné, protože se pohybují maximálně v jednotkách až desítkách nF/km. Pro porovnání odporů je níže uvedená tabulka 6.3.

Tabulka 6.3: Tabulka závislosti odporu smyčky kabelu J-Y(ST)Y na délce

Délka [m]	Odpor smyčky [Ω]	Průměr vodiče [mm]
10	1,3	0,6
20	2,6	0,6
50	6,5	0,6
100	13	0,6
300	39	0,6
400	52	0,6
500	65	0,6
1000	130	0,6

Ve výše uvedené tabulce vidíme zvýrazněné dva řádky. Tyto řádky jsme si zvolili jako maximální a minimální hodnoty pro náš konkrétní domovní systém, kde délka 10 m odpovídá nejbližšímu bytu a délka 400 m odpovídá nejvzdálenějšímu bytu od zvonkového panelu. Jelikož je

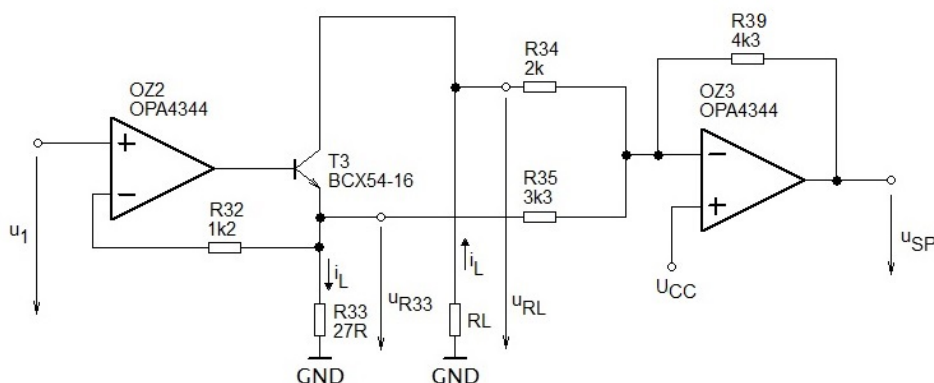
však odpor nejbližšího bytu velmi malý, zařadili jsme si pro lepší stabilitu do vedení malý odpor R_{SM} o velikosti $5,1 \Omega$. Tudiš platí pro maximální a minimální odpory RL níže uvedené hodnoty (6.33) a (6.34).

$$RL_{MIN} = RL_{10m} + R_{SM} = 1,3 \Omega + 5,1 \Omega = 6,4 \Omega \quad (6.33)$$

$$RL_{MAX} = RL_{400m} + R_{SM} = 52 \Omega + 5,1 \Omega = 57,1 \Omega \quad (6.34)$$

6.7.2 Odvození vztahu pro vyvážení vidlice

Nejdůležitějšími odpory ve vidlici jsou odpory $R33$, $R34$, $R35$ a RL . Všechny tyto rezistory budeme potřebovat pro odvození vyvážení vidlice. Proto si musíme stanovit podmínky, pro které bude vyvážení platit. Nakreslíme si tedy zjednodušené schéma pro přenos $F1$, což je přenos z mikrofonu do reproduktoru. Schéma vidíme na obrázku 6.25.



Obrázek 6.25: Zjednodušené schéma zapojení telekomunikační vidlice pro přenos $F1$

Podle výše uvedeného obrázku pro napětí u_{R33} a u_{RL} musí platit (6.35) a (6.36).

$$u_{R33} = u_1 \quad (6.35)$$

$$u_{RL} = -RL \cdot i_L = -RL \frac{u_{R33}}{R33} = -\frac{RL}{R33} \cdot u_1 \quad (6.36)$$

Vypočítali jsme základní vztahy pro napětí na jednotlivých větvích vidlice. Když se podíváme na operační zesilovač OZ3, tak si můžeme všimnout, že je zapojený v součtovém režimu, tudíž musí platit vztah (6.37). Do tohoto vztahu dosadíme námi odvozené hodnoty napětí u_{R33} a u_{RL} (6.38). Vytkneme napětí u_1 a převedeme na druhou stranu rovnice (6.39). Aby byla vidlice vyvážená, musí platit, že levá strana rovnice je rovna nule. Tím pádem se i pravá strana rovnice musí rovnat nule a

můžeme tedy napsat (6.40) a z toho dostaneme výsledný vztah pro určení vyvážení vidlice (6.41). Přitom ale musí platit důležitá podmínka, že $R34 \gg RL \wedge R35 \gg R33$.

$$u_{SP} = -\frac{R39}{R34} \cdot u_{RL} - \frac{R39}{R35} \cdot u_{R33} \quad (6.37)$$

$$u_{SP} = -\frac{R39}{R34} \cdot \left(-\frac{RL}{R33}\right) \cdot u_1 - \frac{R39}{R35} \cdot u_1 \quad (6.38)$$

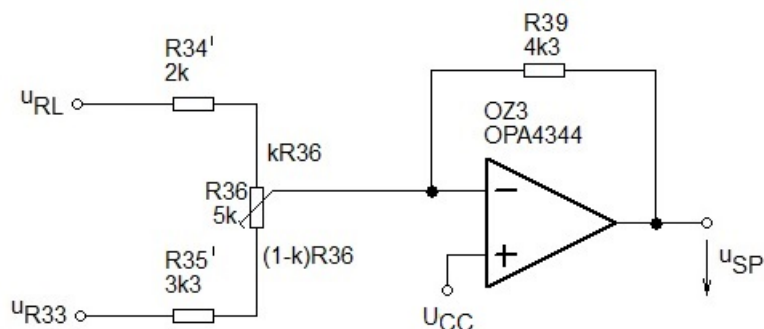
$$\frac{u_{SP}}{u_1} = \frac{R39 \cdot RL}{R34 \cdot R33} - \frac{R39}{R35} \quad (6.39)$$

$$\frac{R39 \cdot RL}{R34 \cdot R33} = \frac{R39}{R35} \quad (6.40)$$

$$\frac{RL}{R33} = \frac{R34}{R35} \quad (6.41)$$

6.7.3 Návrh součástek pro vidlici

Přikročíme k návrhům jednotlivých odporů vidlice. Podíváme se na obrázek 6.26.



Obrázek 6.26: Zjednodušené schéma zapojení telekomunikační vidlice

Hlavními rezistory jsou $R34'$ a $R35'$ a proměnný odpor $R36$. Ten bude sloužit k vyvažování vidlice. Jestliže budeme mít malý odpor vedení, tento odpor bude pro jednu větev vidlice malý a naopak. Proto je na obrázku zmíněn koeficient k (pohybuje se od nuly do jedné), který nám představuje vlastní nastavení proměnného odporu. Můžeme tedy napsat, že pro odpory $R34$ a $R35$ platí níže uvedené rovnice (6.42) a (6.43). Tyto rovnice dosadíme do vztahu o vyvážení vidlice (6.44).

$$R34 = R34' + R36 \cdot k \quad (6.42)$$

$$R35 = R35' + R36 \cdot (1 - k) \quad (6.43)$$

$$\frac{RL}{R33} = \frac{R34' + R36 \cdot k}{R35' + R36 \cdot (1 - k)} \quad (6.44)$$

Nyní známe základní vztah, se kterým budeme dále odvozovat hodnoty rezistorů R34 a R35. Musíme si tedy nejprve vyjádřit výpočet pro odpory R34' a R35', kdy za koeficient k dosadíme extrémní hodnoty. To znamená, že dosazujeme za k nulu nebo jedničku v závislosti na odporu vedení RL (k = 0 pro RL minimální a k = 1 pro RL maximální). Vznikají nám dvě rovnice o dvou neznámých (6.45) a (6.46).

$$R34' = \frac{RL_{MIN}}{R33} \cdot (R35' + R36) \quad (6.45)$$

$$R35' = \frac{R33}{RL_{MAX}} \cdot (R34' + R36) \quad (6.46)$$

Použijeme substituční metodu, kdy dosadím jednu rovnici do druhé, vypočítám neznámou hodnotu a tu následně dosadím zpátky do první. Po úpravách nám tedy vyjdou rovnice (6.47) a (6.48), do kterých dosadíme všechny známé hodnoty.

$$R34' = \left(\frac{RL_{MAX} + R33}{RL_{MAX} - RL_{MIN}} \right) \cdot \frac{RL_{MIN}}{R33} \cdot R36 = \left(\frac{57,1 \Omega + 27 \Omega}{57,1 \Omega - 6,4 \Omega} \right) \cdot \frac{6,4 \Omega}{27 \Omega} \cdot R36 = 0,39 \cdot R36 \quad (6.47)$$

$$R35' = \frac{RL_{MIN} + R33}{RL_{MAX} - RL_{MIN}} \cdot R36 = \frac{6,4 \Omega + 27 \Omega}{57,1 \Omega - 6,4 \Omega} \cdot R36 = 0,66 \cdot R36 \quad (6.48)$$

Z výše odvozených rovnic vidíme, že abychom mohli určit odpory R34' a R35', musíme nejprve určit proměnný odpor R36. Když víme, že $R34' \gg RL \wedge R35' \gg R33$, pak platí následující výpočet (6.49) a z toho dostáváme (6.50).

$$0,39 \cdot R36 \gg RL_{MAX} \wedge 0,66 \cdot R36 \gg R33 \quad (6.49)$$

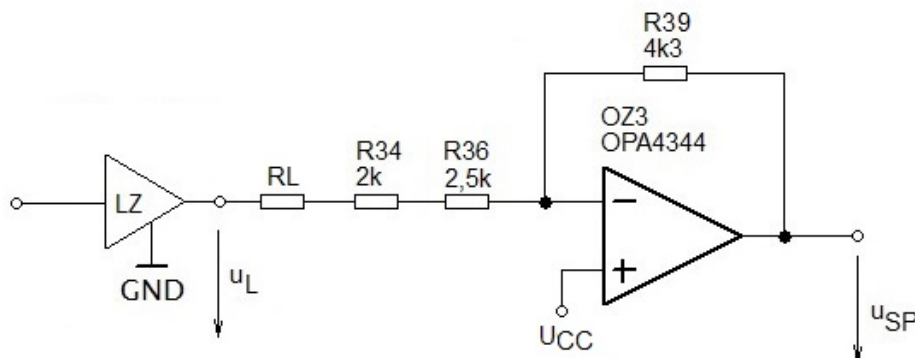
$$R36 \gg \frac{RL_{MAX}}{0,39} \wedge R36 \gg \frac{R33}{0,66} \rightarrow R36 \gg \frac{57,1 \Omega}{0,39} = 146,4 \Omega \wedge R36 \gg \frac{27 \Omega}{0,66} = 40,9 \Omega \quad (6.50)$$

Jelikož výrobce nabízí proměnné odpory, které nám můžou vyhovovat, o velikosti 1 kΩ a pak dále až 5 kΩ, volíme tedy druhou zmiňovanou hodnotu z důvodu rezervy. Když už známe rezistor R36, dosadíme hodnotu do rovnic (6.51) a (6.52) a vypočítáme rezistory R34' a R35'. Volíme z řady R34' = 2k a R35' = 3k3.

$$R34' = \left(\frac{RL_{MAX} + R33}{RL_{MAX} - RL_{MIN}} \right) \cdot \frac{RL_{MIN}}{R33} \cdot R36 = \left(\frac{57,1 \Omega + 27 \Omega}{57,1 \Omega - 6,4 \Omega} \right) \cdot \frac{6,4 \Omega}{27 \Omega} \cdot 5k\Omega = 1,95 k\Omega \quad (6.51)$$

$$R35' = \frac{RL_{MIN} + R33}{RL_{MAX} - RL_{MIN}} \cdot R36 = \frac{6,4 \Omega + 27 \Omega}{57,1 \Omega - 6,4 \Omega} \cdot 5k\Omega = 3,3 k\Omega \quad (6.52)$$

Jako předposlední zbývá určit hodnotu rezistoru R39 a kondenzátorů C19 a C20. Rezistor R39 je zapojený do zpětné vazby operačního zesilovače OZ3 a spolu s rezistorem R34 a proměnným rezistorem R36 bude určovat zesílení. Signál, který budeme hlavně potřebovat zesílit bude ten přichází z linky jak vidíme na obrázku 6.27.



Obrázek 6.27: Zjednodušené schéma zapojení telekomunikační vidlice pro určení odporu R37

OZ3 je zapojený v invertujícím zapojení a pro zesílení platí vztah (6.53). Když víme, že přenos označený jako F3 podle obrázku 6.24 má být roven jedné a hodnota proměnného odporu R36 je nastavena na polovinu maximální hodnoty, můžeme vyjádřit vzorec pro výpočet rezistoru R39 (6.54).

$$u_{SP} = -\frac{R39}{R34 + R36} \cdot u_L \quad (6.53)$$

$$\frac{u_{SP}}{u_L} = -\frac{R39}{R34 + R36} \rightarrow R39 = \frac{u_{SP}}{u_L} \cdot (R34 + R36) = 1 \cdot 2k\Omega + 2,5k\Omega = 4,5k\Omega \rightarrow \text{volíme } 4k3 \quad (6.54)$$

Nyní známe všechny hodnoty rezistorů a můžeme se pustit do výpočtu kapacit kondenzátorů C19 a C20. Pro výpočet použijeme často používaný vztah, kde hodnoty odporů volíme odpory v jednotlivých větvích vidlice a mezní kmitočet výrazně nižší, než dolní přenášený kmitočet. Výpočet kondenzátorů tedy můžeme vidět níže (6.55) a (6.56).

$$C19 = \frac{1}{2\pi f_m \cdot R34} = \frac{1}{2\pi \cdot 10\text{Hz} \cdot 2k\Omega} = 9,95 \mu F \rightarrow \text{volíme } 47\mu F \quad (6.55)$$

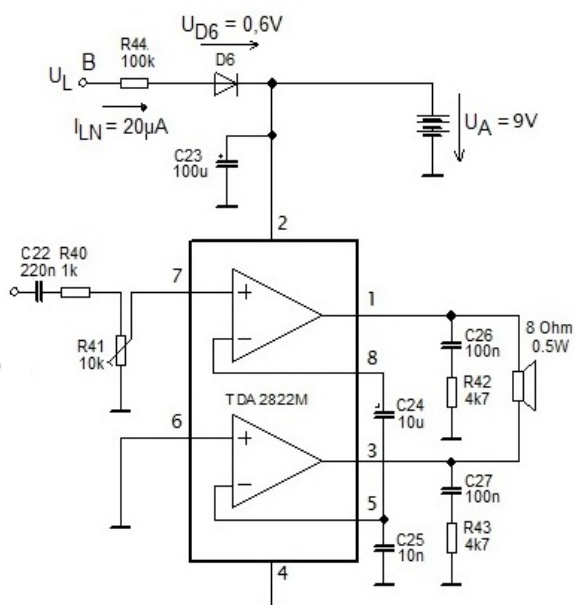
$$C20 = \frac{1}{2\pi f_m \cdot R35} = \frac{1}{2\pi \cdot 10\text{Hz} \cdot 3,3k\Omega} = 4,82 \mu F \rightarrow \text{volíme } 47\mu F \quad (6.56)$$

Volili jsme výrazně větší hodnoty kapacity z důvodu co největší rezervy, kde jako mezní kmitočet jsme mohli použít ještě nižší hodnotu.

Pozn: Odporů R37 a R38 operačního zesilovače OZ3 nám představují rovnoměrný dělič napětí a tyto hodnoty včetně kondenzátoru C21 jsme navrhovali naprosto stejně jako při návrhu mikrofonního předzesilovače v kapitole 6.4 Mikrofonní předzesilovač, abychom dostali na výstupu napětí cca 2,5 V vůči zemi a využili tak plného potenciálu operačního zesilovače.

6.8 Výkonový zesilovač s reproduktorem

Poslední částí domovního telefonu před samotným reproduktorem je výkonový zesilovač. Úkolem koncového výkonového zesilovače je zesílit signál předzesilovačů na výkon požadovaný zátěží, tedy reproduktorem. Pro náš telefon využijeme integrovaného obvodu s označením TDA2822M, což není v podstatě nic jiného než pouzdro se dvěma operačními zesilovači jak můžeme vidět na obrázku 6.28. O tomto obvodu si více povíme v samostatné kapitole 6.8.1.



Obrázek 6.28: Schéma zapojení výkonového zesilovače s integrovaným obvodem TDA2822M

Integrovaný obvod TDA2822M budeme napájet 9 V akumulátorem, protože napájení z linky, které využíváme u předešlých částí telefonu by v tomto případě bylo nedostatečné. Při návrhu součástek jsme využili katalogového listu (datasheetu) tohoto obvodu a použili hodnoty přímo doporučené výrobcem. Odporů R40 a R41 jsme si zvolili experimentálně a ty slouží k jemnějšímu doladování vstupního signálu. Výstup označený písmenem B je přímo připojen na linku a to proto, aby při nečinnosti telefonu proud protékající tímto vodičem přes odpor R44 a diodu D6 pomalu dobíjel akumulátor. Proud protékající linkou v nečinnosti se pohybuje kolem 20 µA. Velikost odporu R44 jsme si tedy určili vztahem (6.57)

$$R_{44} = \frac{U_L - U_A - U_{D6}}{I_{In}} = \frac{12V - 9V - 0,6V}{20\mu A} = 120k\Omega \rightarrow volíme 100k\Omega \quad (6.57)$$

Poslední částí v našem schématu je reproduktor. Budeme volit 8 Ohmový s výkonem 0,5 W s malými rozměry. Proto jsme vybrali model LP-28CS08F (obrázek 6.29), který nabízí k prodeji firma GM electronic. Tento model má naše požadované parametry a jeho průměr je 28 mm s výškou 4,8 mm.



Obrázek 6.29: Reproduktor LP-28CS08F

6.8.1 Integrovaný obvod TDA2822M

Obvod TDA2822M nízkonapěťový výkonový zesilovač s malým zkreslením a nízkým klidovým proudovým odběrem. Dále umožňuje konfiguraci jak mono pro jeden reproduktor, tak také stereo pro dva reproduktory. Obsahuje osm pinů, kde čtyři jsou vstupní, dva výstupní a zbylé dva slouží pro napájení a uzemnění. Obrázek 6.30 ukazuje tento obvod s jednotlivými popisy pinů.

	PIN	POPIS
OUT1	1	VÝSTUP Z OZ1
VCC	2	NAPÁJENÍ
OUT2	3	VÝSTUP Z OZ2
GND	4	ZEM
IN1-	5	INVERTUJÍCÍ VSTUP OZ2
IN1+	6	NEINVERTUJÍCÍ VSTUP OZ2
IN2+	7	NEINVERTUJÍCÍ VSTUP OZ1
IN2-	8	INVERTUJÍCÍ VSTUP OZ1

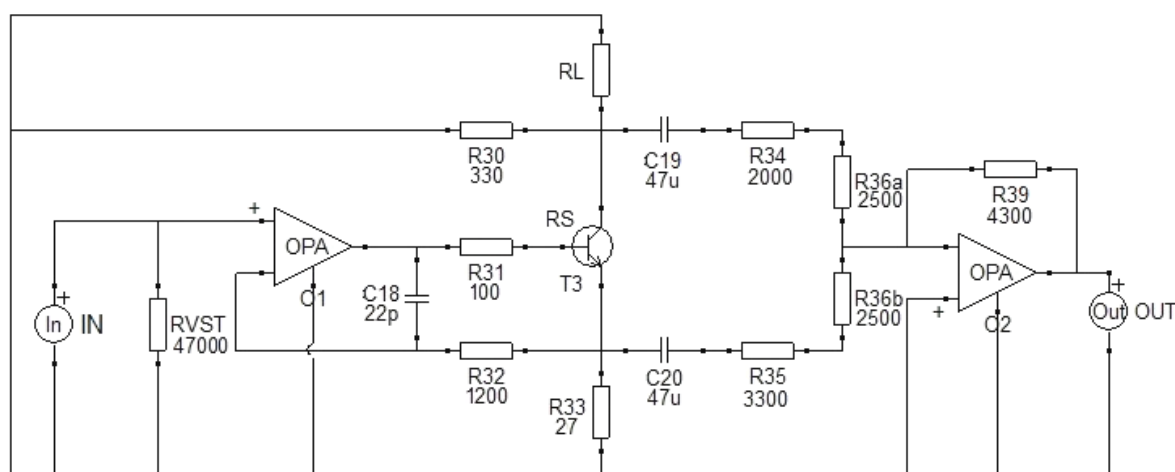
Obrázek 6.30: Integrovaný obvod TDA2822M s popisy jednotlivých pinů

Nejdůležitější vlastnosti výkonového zesilovače TDA2822M je rozsah napájecích napětí, který se pohybuje v rozmezí od 1,8 V do 15 V. Další vlastnosti, jak už bylo zmíněno je malý klidový odebraný proud, jehož katalogová hodnota je 100 nA. Jeho výkonové zesílení se liší v závislosti na připojené zátěži a napájecímu napětí. Pro naši připojenou zátěž, což je 8 Ω reproduktor se výkonové zesílení pohybuje od 220 mW (napájení 3 V) až do cca 1 W (napájení 6 V). Zkreslení se výrobce udává okolo 0,2 %, což je téměř zanedbatelné.[11]

7 Měření

7.1 Počítačová analýza vidlice v programu SNAP

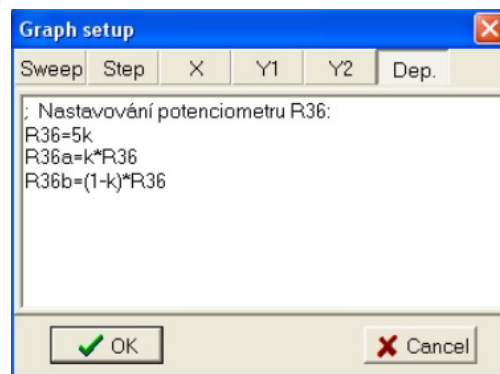
V kapitole 6 jsme provedli kompletní návrh domovní hlasité hovorové soupravy. Nyní si musíme ověřit funkčnost nejdůležitější části zařízení, a to vidlice. K tomu použijeme jednoduchý program SNAP v 2.61, což je free software pro symbolickou, semisymbolickou a numerickou analýzu elektronických obvodů. Je rozdělený na dvě hlavní části. Editor, kde se tvoří schémata a analyzátor, který vytvořená schémata vyhodnocuje. Více informací a jednoduchý manuál lze najít v [12].



Obrázek 7.1: Schéma zapojení vidlice v editoru programu SNAP

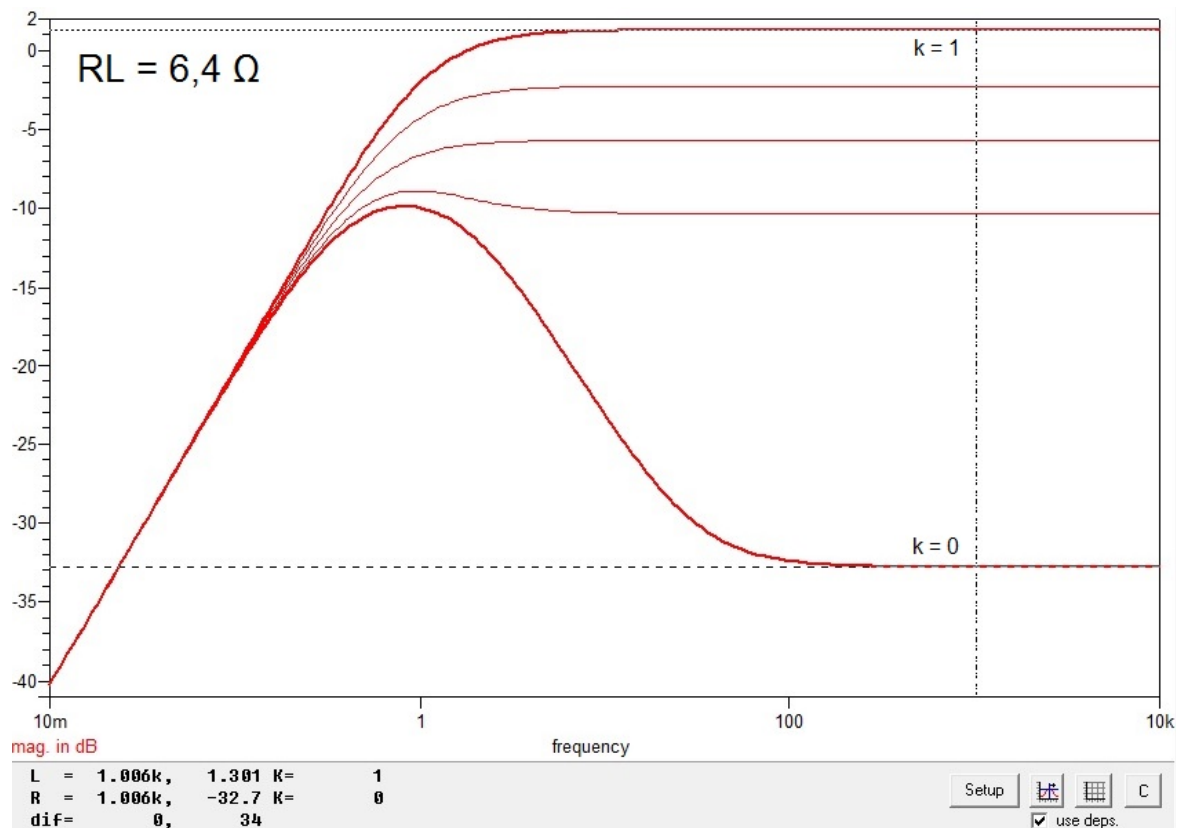
Na výše uvedeném obrázku 7.1 máme nakreslené schéma zapojení pro analýzu vidlice v editoru SNAPU. Operační zesilovače použijeme ideální. Na tranzistoru T3 jsme podle výpočtů zvolili vstupní a výstupní odpor a strmost. Analýzu budeme provádět pro dvě velikosti odporu vedení RL. A to pro maximální a minimální. Dále pak budeme nastavovat proměnný rezistor R36, který jsme si rozdělili na 2 díly označené jako R36a a R36b. Oba díly budeme pomocí krokování měnit v závislosti na proměnné konstantě k.

Po spuštění analyzátoru se nám otevře okno, kde si můžeme zvolit, jaký typ analýzy požadujeme. Pro nás je nejdůležitější přenos napětí. Jakmile klikneme na ikonu pro analýzu přenosu napětí, objeví se nám okno s výsledky, kde máme na výběr z třech druhů analýzy. Symbolickou a semisymbolickou, a pak charakteristiky ve frekvenční a časové oblasti. Nás bude zajímat frekvenční amplitudová charakteristika. V ní máme možnost nastavení jednotlivých os a také volby krokování, kde zvolíme, že chceme krokovat rezistor R36. Ten si nastavíme v editoru závislostí, který je označený jako záložka „Dep“ jak vidíme na obrázku 7.2.

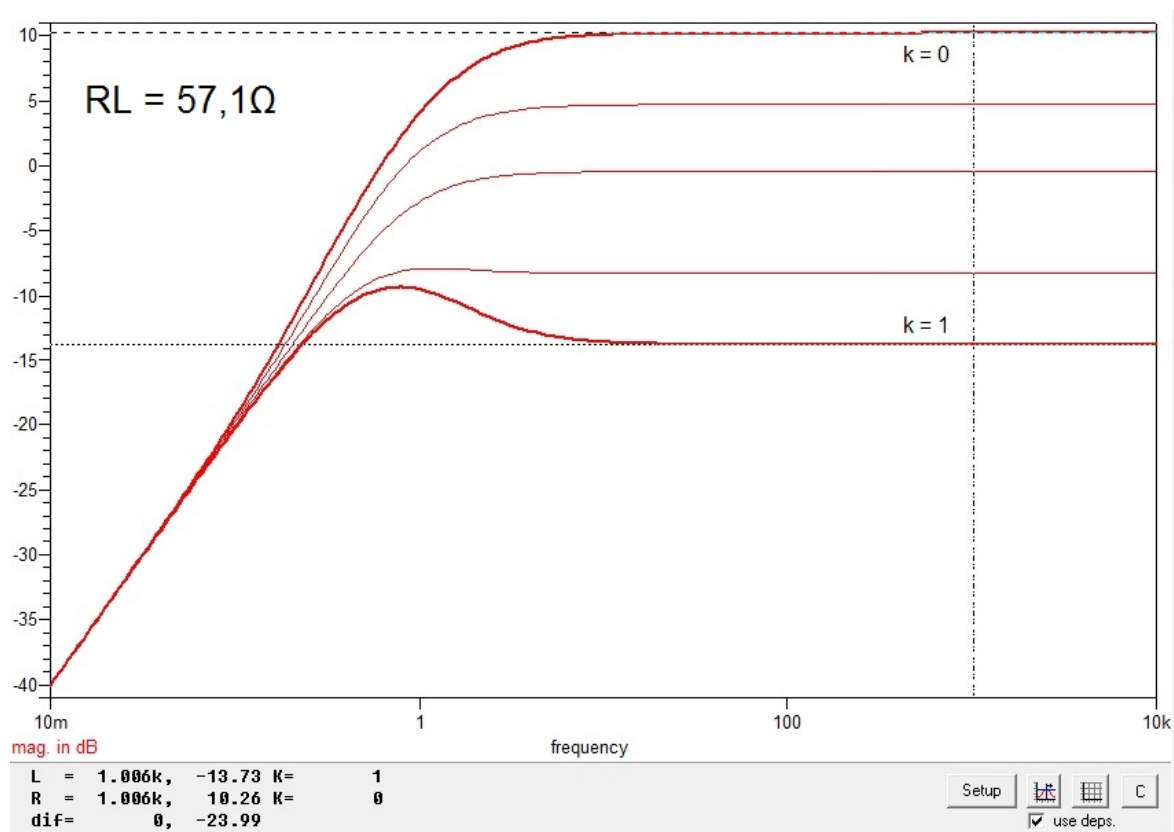


Obrázek 7.2: Editor závislosti pro nastavení proměnného odporu R36

Tímto máme nastavenou závislost proměnného odporu R36. Poté jsme přikročili do složky „Step“ (krokování), kde jsme zvolili parametr k, který nám bude určovat hodnotu odporu R36. Jeho rozmezí určíme od nuly do jedné a počet kroků pro přehlednost zvolíme na hodnotu pět. Výsledné amplitudové frekvenční závislosti při konstantním odporu vedení RL jsou zobrazeny na obrázcích 7.3 a 7.4. Podle těchto obrázků nádherně můžeme vidět, jak změna nastavovacího proměnného rezistoru R36 ovlivňuje celkové chování vidlice a lze tedy provést potlačení akustické zpětné vazby právě pomocí tohoto zařízení.



Obrázek 7.3: Amplitudová frekvenční charakteristika výstupního signálu při krokování proměnného rezistoru R36 při minimálním odporu vedení RL



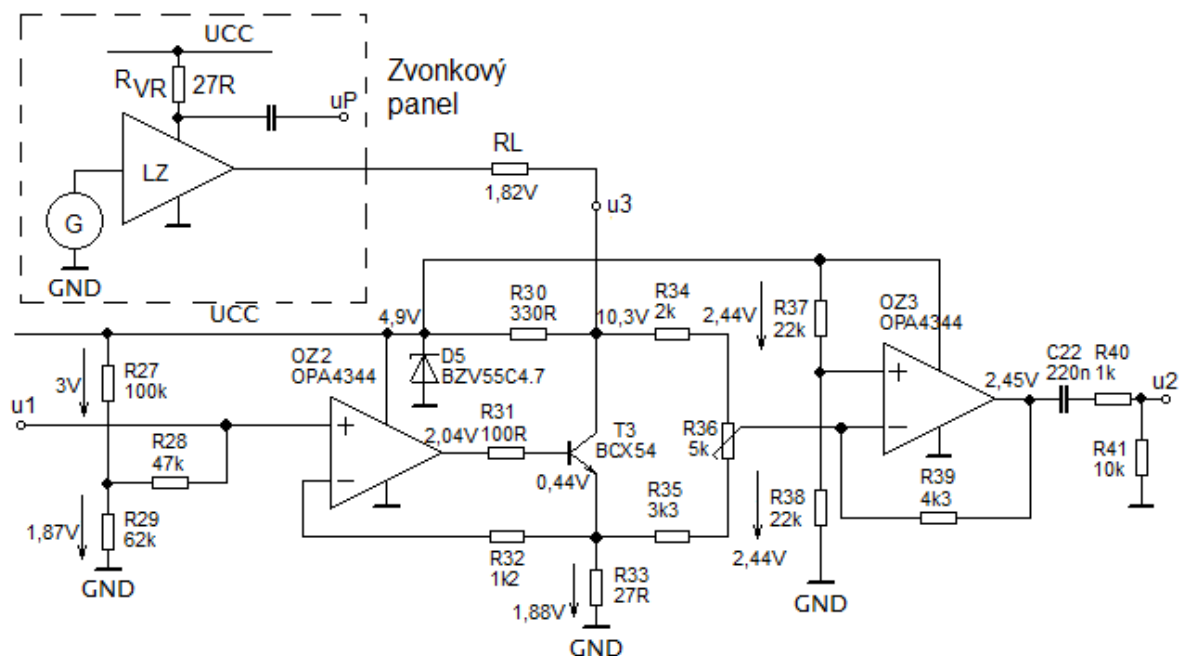
Obrázek 7.4: Amplitudová frekvenční charakteristika výstupního signálu při krokování proměnného rezistoru R36 při maximálním odporu vedení RL

7.2 Zapojení a odměření vidlice

Analýza vidlice v programu SNAP proběhla úspěšně a nyní je třeba sestavit prototyp a odměřit jednotlivá napětí v různých místech vidlice, a také určit přenosy. Zapojení je realizováno na nepájivém poli. Obvod napájíme 12 V a jako vstupní signál využíváme generátoru sinusového signálu s napětím špička – špička 200 mV. Tento signál i s výstupním přivádíme na osciloskop, kde vidíme chování signálů při vyvážení vidlice. Také si můžeme všimnout, že v určitých místech obvodu dochází k otočení fáze vstupního a výstupního signálu, což máme ukázáno v přílohách, kde jsou zobrazeny průběhy vstupního a výstupního napětí. Zjednodušené schéma zapojení, včetně hodnot napětí v různých místech, vidíme na obrázku 7.5.

Nyní budeme proměřovat frekvenční amplitudové charakteristiky pro všechny tři přenosy. Pro každý přenos budeme měnit velikost odporu vedení RL, abychom viděli, jak je délka vedení závislá na vyvážení vidlice. Nejprve tedy přenos F1, což je přenos z mikrofону (u1) do reproduktoru (u2). Frekvenční charakteristiku najdeme v příloze A. Jak můžeme vidět, pro odpor vedení $RL = 20 \Omega$ je vidlice vyvážená a přenos je téměř nulový, tzn. že signál z mikrofónu je potlačen až o necelých 40 dB

a na výstup do reproduktoru se v podstatě nedostane. Průběh vstupního a výstupního napětí při vyvážení vidlice máme zobrazen v příloze D.



Obrázek 7.5: Zjednodušené schéma zapojení vidlice včetně hodnot napětí

Když se podíváme na frekvenční charakteristiku přenosu F2 (mikrofon – zvonkový panel), vidíme, že při vyvážení vidlice se skoro celý vstupní signál dostane ke zvonkovému panelu (uP), viz. příloha B. Nicméně v našem měření jsme museli využít přepočtu výstupního signálu uP (7.1), protože jsme neměli k dispozici zvonkový panel a výstupní signál jsme neměřili na svorce uP, nýbrž na svorce označené jako u3. Hodnoty pro výpočet jsme odečetli z osciloskopu, jehož obrázek vidíme v příloze E, kde je zobrazen průběh vstupního a výstupního napětí.

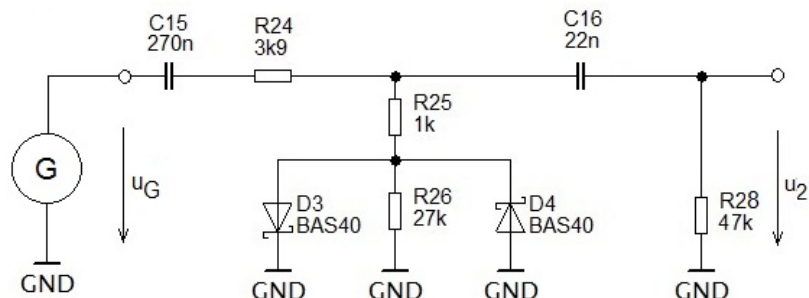
$$u_P = \frac{u_3}{R_L} \cdot R_{VR} = \frac{148 \text{ mV}}{20 \Omega} \cdot 27 \Omega = 199,8 \text{ mV} \quad (7.1)$$

Posledním přenosem, jak můžeme vidět v příloze C a F byl přenos F3 (zvonkový panel – reproduktor). U tohoto přenosu jsme museli realizovat náhradní zapojení pro zvonkový panel. Z frekvenční charakteristiky opět vidíme, že došlo jen k minimálnímu potlačení procházejícího signálu do reproduktoru. To nám také ukazuje i obrázek pro vstupní a výstupní napětí v příloze F.

7.3 Zapojení a odměření mžikového kompresoru

Po odzkoušení vidlice přichází na řadu vyzkoušet funkci mžikového kompresoru. Zapojení realizujeme opět na nepájivém poli. Příchozím signálem bude sinusový signál z generátoru, u něhož

budeme měnit amplitudu. Vstupní a výstupní signál přivedeme na osciloskop a budeme sledovat, jak se tento obvod chová při normálním provozu a při přebuzení. Na obrázku 7.6 máme schéma zapojení.



Obrázek 7.6: Schéma zapojení pro odměření mžikového kompresoru

Nejprve jsme tedy generovali vstupní signál špička – špička o velikosti 200 mV. Průběh a velikost napětí je uveden v příloze G. Jak jsme si mohli všimnout, velikost výstupního signálu se od vstupního tolik neliší. Došlo k poklesu o 1,92 dB (7.2), zatímco když jsme vstupní signál zvýšili na cca 400 mV (příloha H) pokles signálu už byl 2,82 dB (7.3) a při přebuzení vstupním signálem (příloha I) na 600 mV, vznikl pokles signálu o necelé 4 dB (7.4) a jak je vidět z průběhů, dochází k výraznému zkreslení signálu. Zkreslení je úměrné velikosti přicházejícího vstupního signálu.

$$20 \cdot \log \frac{u_2}{u_G} = 20 \cdot \log \frac{162 \text{ mV}}{202 \text{ mV}} = -1,92 \text{ dB} \quad (7.2)$$

$$20 \cdot \log \frac{u_2}{u_G} = 20 \cdot \log \frac{292 \text{ mV}}{404 \text{ mV}} = -2,82 \text{ dB} \quad (7.3)$$

$$20 \cdot \log \frac{u_2}{u_G} = 20 \cdot \log \frac{380 \text{ mV}}{600 \text{ mV}} = -3,97 \text{ dB} \quad (7.4)$$

8 Závěr

Cílem práce bylo vytvořit hlasitou hovorovou soupravu a potlačit u ní akustickou zpětnou vazbu, která by se negativně projevovala a ovlivňovala by stabilitu systému. Bylo proto třeba rozlišit, jakými směry budou probíhat jednotlivé přenosy signálu. Nejdůležitějším přenosem, a tudíž přenosem, který by způsoboval akustickou zpětnou vazbu byla tzv. místní vazba, která charakterizovala přenos z mikrofonu do reproduktoru. Tento směr jsme tudíž chtěli co nejvíce potlačit. Proto jsme využili telekomunikační vidlici, která díky svému vyvážení byla schopna právě tento přenos eliminovat. Naopak signály jdoucí z mikrofonu do zvonkového panelu a ze zvonkového panelu do reproduktoru byly přeposílány bez nějakého většího útlumu, což nám také ukázaly i amplitudové frekvenční charakteristiky.

Nejdůležitějšími částmi hlasité hovorové soupravy byla již zmíněná telekomunikační vidlice, ale nesmíme zapomenout i na jiné důležité části. Vezmeme si například obvod pro adresování telefonu, neboli přijímač volby. Bez tohoto systému by nebylo možné navázat požadovaný hovor, protože bychom neznali adresu volaného telefonu. Další neméně důležitou částí byly tzv. spínací obvody, bez kterých by nedošlo k uzavření okruhu hovoru. Když už je tedy hovor aktivní, tak bychom se rozhodně neobešli bez mikrofonního předzesilovače a následného kompresního obvodu, jehož funkci jsme si prakticky ukázali. Bez této části hovorové soupravy by mohlo docházet k přebuzení vstupního signálu a opět k následné nestabilitě.

Po celou dobu návrhu byla snaha o co nejmenší spotřebu hovorové soupravy. Tudíž všechny navrhované obvody byly plně kompatibilní pro napájecí napětí, které bylo cca 5 V. Jedinou výjimku nicméně tvoří výkonový zesilovač, který je napájen 9 V akumulátorem. U tohoto zesilovače byla původně snaha využít superkondenzátoru místo akumulátoru. Cenově by však tento nápad vyšel přibližně stejně. Proto jsme volili dobíjecí akumulátor i z důvodu lepší stability, protože superkondenzátor by se při neaktivitě linky nabíjel velmi dlouho.

Závěrem bych chtěl hlavně vyzdvihnout, že tato práce mě velmi bavila a byla pro mě obrovským přínosem. Hlavně díky ní jsem přišel více na chuť k elektronice jako takové, a možná právě k vůli tomu ještě přehodnotím své možné budoucí zaměření. Ono je dobrý pocit vědět, že něco funguje, ale ještě lepší pocit je, že víme, jak to funguje.

9 Seznam literatury

- [1] Akustika, vznik a šíření zvuku.... BERNAT, Petr. *Osobní stránky Ing. Petra BERNATA* [online]. 2008 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~ber30/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm
- [2] BRANDŠTETTER. *Analogové elektronické obvody: Učební texty pro kombinované a distanční studium* [online]. Ostrava, 2005 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~vac174/vyuka/AEO/Studijni_opory/Analogove_elektronicke_obvody.pdf
Učební texty. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [3] Zpětná vazba. *Www.zesilovace.cz Stránky o elektronice, ozvučování a zesilovačích* [online]. 2002 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.zesilovace.cz/view.php?cislocclanku=2002121601>
- [4] SVOBODA, Jiří a Jiří BRDA. *Elektroakustika do kapsy*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1981, 367 s.
- [5] JUHÁR, Josef. *Elektroakustika*. Bratislava: Alfa, 1990, 224 s. ISBN 80-05-00204-1.
- [6] Encyklopedie fyziky. REICHL, Jaroslav. *Fyzika :: MEF* [online]. 2006 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/375-elektroakustika>
- [7] Konstrukce mikrofónů. *ELEKTROAKUSTIKA® AKUSTIKA OZVUČENÍ* [online]. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: http://www.elektroakustika.cz/types_microphones.html
- [8] Jaroslav Gottwald S.G.E. - Domácí telefony. *Jaroslav Gottwald S.G.E. - Hlavní stránka společnosti Jaroslav Gottwald - S.G. ELECTRONIC* [online]. 11.4.2005 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.sge.cz/index.php?p=285>
- [9] ŠKOP, Miroslav, Miroslav PETRÁSEK, Václav SOBOTKA a KOLEKTIV. *Telekomunikační přenosová technika*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1991, 300 s. ISBN 80-010-0733-2.
- [10] PHILIPS SEMICONDUCTORS. *74HC/HCT40103: 8-bit synchronous binary down counter*. 1998. Dostupné z: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/74HCT40103D.pdf>
- [11] SGS-THOMSON MICROELECTRONICS. *TDA2822M: DUAL LOW-VOLTAGE POWER AMPLIFIER*. 1995. Dostupné z: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXqwxzy.pdf>
- [12] BIOLEK, Dalibor. *Řešíme elektronické obvody, aneb, Kniha o jejich analýze*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 519 s. ISBN 80-730-0125-X.

10 Přílohy

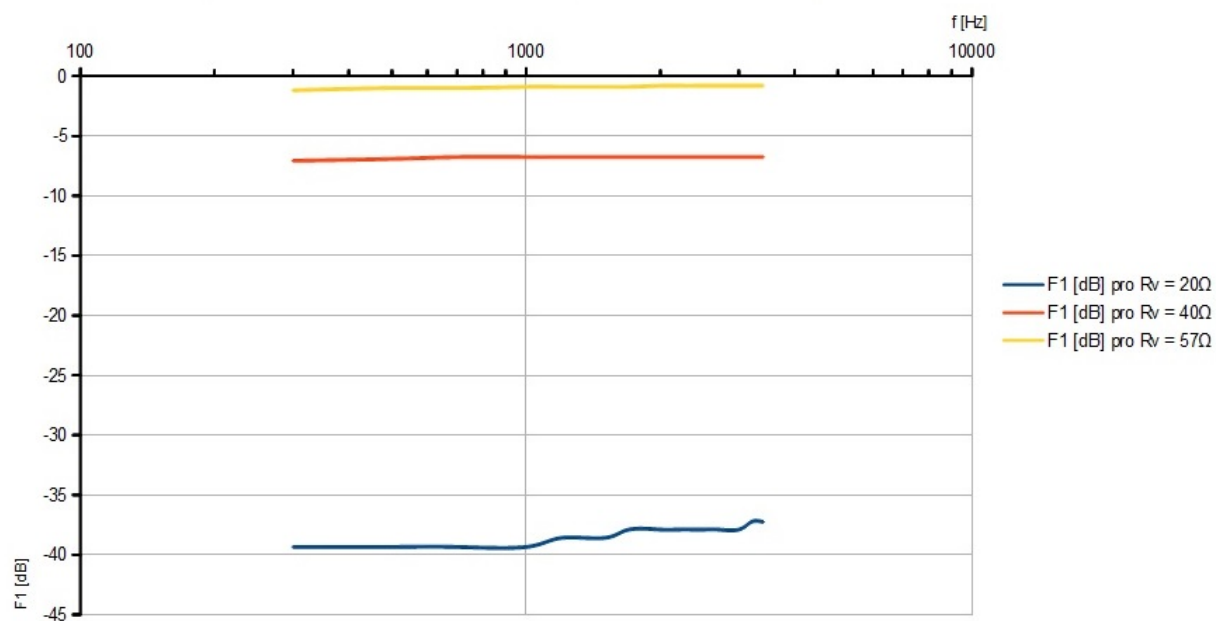
Seznam příloh

Příloha A: Amplitudová frekvenční charakteristika přenosu F1 (mikrofon – reproduktor).....	2
Příloha B: Amplitudová frekvenční charakteristika přenosu F2 (mikrofon – zvonkový panel).....	3
Příloha C: Amplitudová frekvenční charakteristika přenosu F3 (zvonkový panel – reproduktor).....	4
Příloha D: Průběh vstupního a výstupního napětí pro přenos F1.....	5
Příloha E: Průběh vstupního a výstupního napětí pro přenos F2.....	5
Příloha F: Průběh vstupního a výstupního napětí pro přenos F3.....	5
Příloha G: Průběhy napětí mžikového kompresoru při vstupním signálu $P_k - P_k = 200\text{mV}$	6
Příloha H: Průběhy napětí mžikového kompresoru při vstupním signálu $P_k - P_k = 400\text{mV}$	6
Příloha I: Průběhy napětí mžikového kompresoru při přebuzení vstupního signálu.....	6
Příloha J: Schéma zapojení hlasité hovorové soupravy.....	7
Příloha K: Adresářová struktura přiloženého DVD.....	10

Příloha A: Amplitudová frekvenční charakteristika přenosu F_1 (mikrofon – reproduktor)

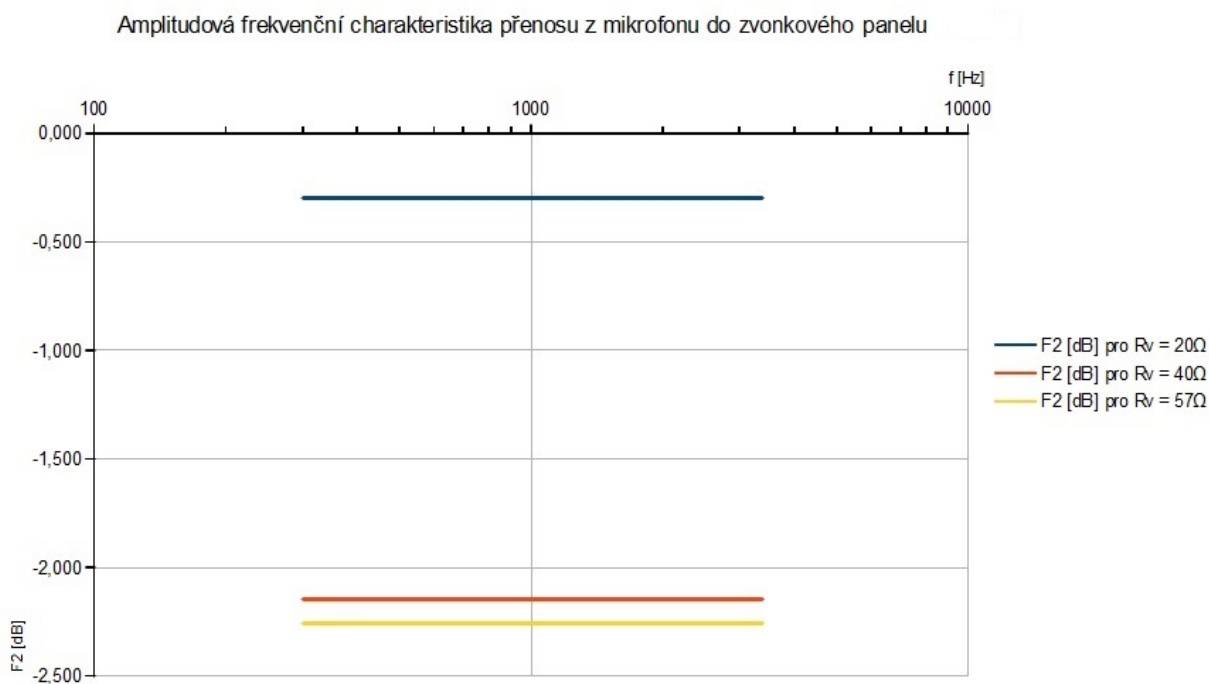
f [Hz]	u1[mV]	u2[mV] Rv=20Ω	u2[mV] Rv=40Ω	u2[mV] Rv=57Ω	F1[V/V] Rv=20Ω	F1[V/V] Rv=40Ω	F1[V/V] Rv=57Ω	F1[dB] Rv=20Ω	F1[dB] Rv=40Ω	F1[dB] Rv=57Ω
300	204	2,2	90,4	178	0,011	0,443	0,873	-39,344	-7,069	-1,184
500	204	2,2	92	182	0,011	0,451	0,892	-39,344	-6,917	-0,991
700	204	2,2	93,6	182	0,011	0,459	0,892	-39,344	-6,767	-0,991
1000	204	2,2	93,6	184	0,011	0,459	0,902	-39,344	-6,767	-0,896
1200	204	2,4	93,6	184	0,012	0,459	0,902	-38,588	-6,767	-0,896
1500	204	2,4	93,6	184	0,012	0,459	0,902	-38,588	-6,767	-0,896
1700	204	2,4	93,6	184	0,013	0,459	0,902	-37,893	-6,767	-0,896
2000	204	2,6	93,6	186	0,013	0,459	0,912	-37,893	-6,767	-0,802
2200	204	2,6	93,6	186	0,013	0,459	0,912	-37,893	-6,767	-0,802
2500	204	2,6	93,6	186	0,013	0,459	0,912	-37,893	-6,767	-0,802
2700	204	2,6	93,6	186	0,013	0,459	0,912	-37,893	-6,767	-0,802
3000	204	2,6	93,6	186	0,013	0,459	0,912	-37,893	-6,767	-0,802
3200	204	2,8	93,6	186	0,014	0,459	0,912	-37,249	-6,767	-0,802
3400	204	2,8	93,6	186	0,014	0,459	0,912	-37,249	-6,767	-0,802

Amplitudová frekvenční charakteristika přenosu z mikrofonu do reproduktoru



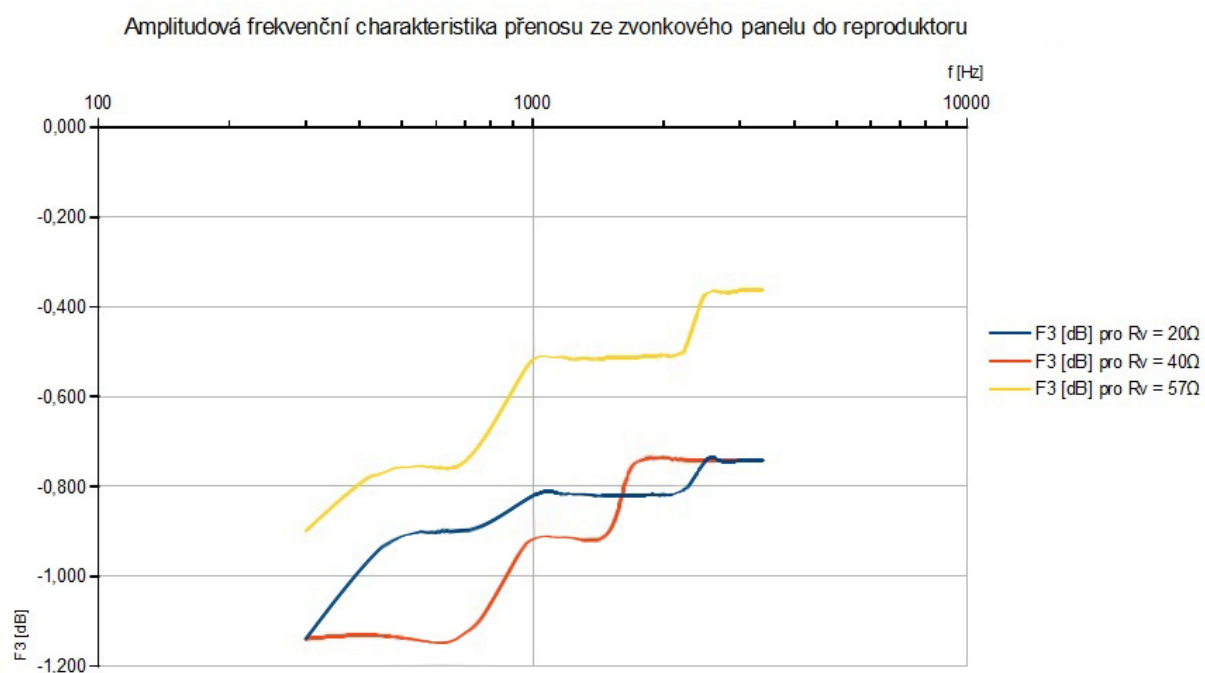
Příloha B: Amplitudová frekvenční charakteristika přenosu F2 (mikrofon – zvonkový panel)

f [Hz]	u1[mV]	uP[mV] Rv=20Ω	uP[mV] Rv=40Ω	uP[mV] Rv=57Ω	F2[V/V] Rv=20Ω	F2[V/V] Rv=40Ω	F2[V/V] Rv=57Ω	F2[dB] Rv=20Ω	F2[dB] Rv=40Ω	F2[dB] Rv=57Ω
300	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
500	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
700	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
1000	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
1200	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
1500	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
1700	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
2000	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
2200	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
2500	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
2700	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
3000	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
3200	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258
3400	204	197,1	159,3	157,3	0,966	0,781	0,771	-0,299	-2,148	-2,258

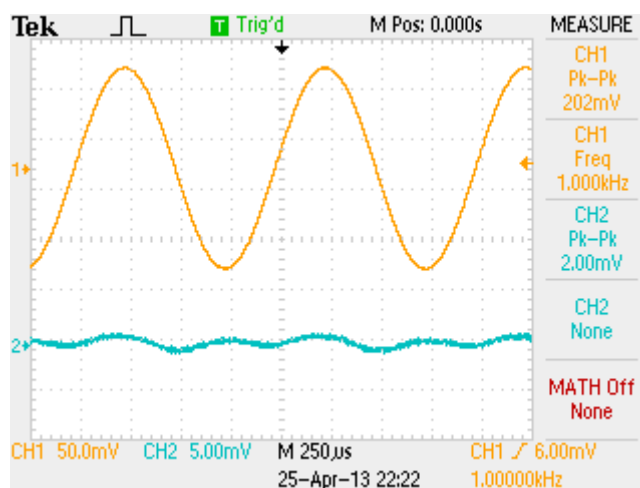


Příloha C: Amplitudová frekvenční charakteristika přenosu F_3 (zvonkový panel – reproduktor)

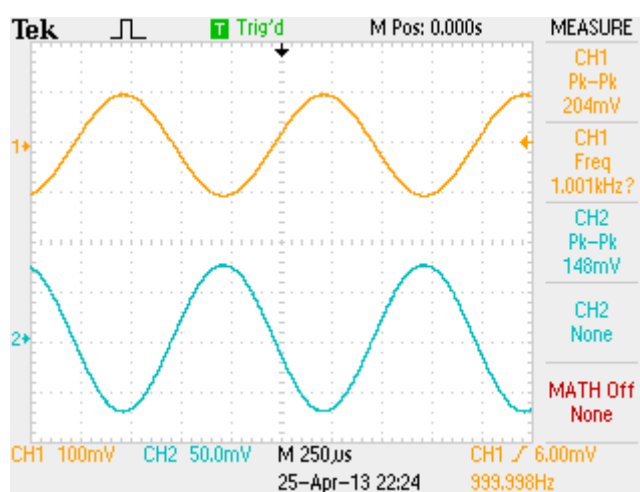
f [Hz]	uP[mV]	u2[mV] Rv=20Ω	u2[mV] Rv=40Ω	u2[mV] Rv=57Ω	F3[V/V] Rv=20Ω	F3[V/V] Rv=40Ω	F3[V/V] Rv=57Ω	F3[dB] Rv=20Ω	F3[dB] Rv=40Ω	F3[dB] Rv=57Ω
300	122	107	107	110	0,877	0,877	0,902	-1,140	-1,140	-0,899
500	122	110	107	112	0,902	0,877	0,918	-0,899	-1,140	-0,743
700	122	110	107	112	0,902	0,877	0,918	-0,899	-1,140	-0,743
1000	122	111	110	115	0,910	0,902	0,943	-0,821	-0,899	-0,513
1200	122	111	110	115	0,910	0,902	0,943	-0,821	-0,899	-0,513
1500	122	111	110	115	0,910	0,902	0,943	-0,821	-0,899	-0,513
1700	122	111	112	115	0,910	0,918	0,943	-0,821	-0,743	-0,513
2000	122	111	112	115	0,910	0,918	0,943	-0,821	-0,743	-0,513
2200	122	111	112	115	0,910	0,918	0,943	-0,821	-0,743	-0,513
2500	122	112	112	117	0,918	0,918	0,959	-0,743	-0,743	-0,363
2700	122	112	112	117	0,918	0,918	0,959	-0,743	-0,743	-0,363
3000	122	112	112	117	0,918	0,918	0,959	-0,743	-0,743	-0,363
3200	122	112	112	117	0,918	0,918	0,959	-0,743	-0,743	-0,363
3400	122	112	112	117	0,918	0,918	0,959	-0,743	-0,743	-0,363



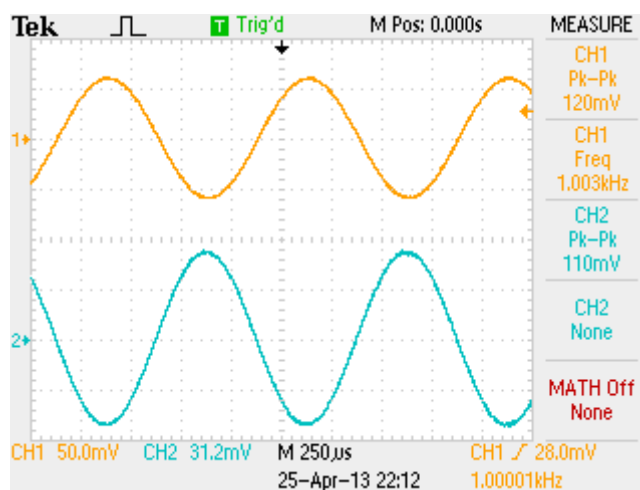
Příloha D: Průběh vstupního a výstupního napětí pro přenos F1



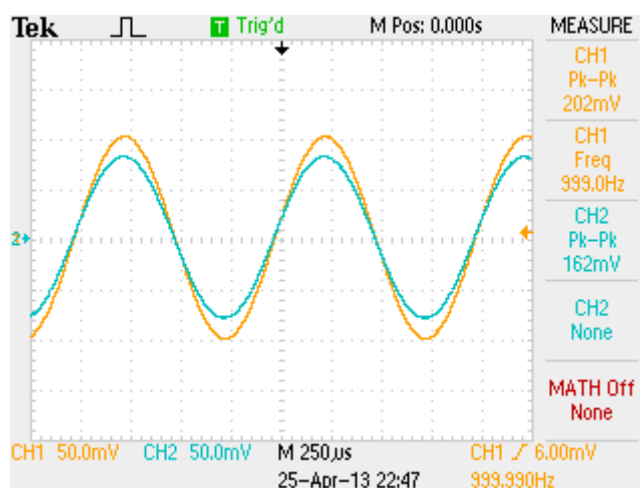
Příloha E: Průběh vstupního a výstupního napětí pro přenos F2



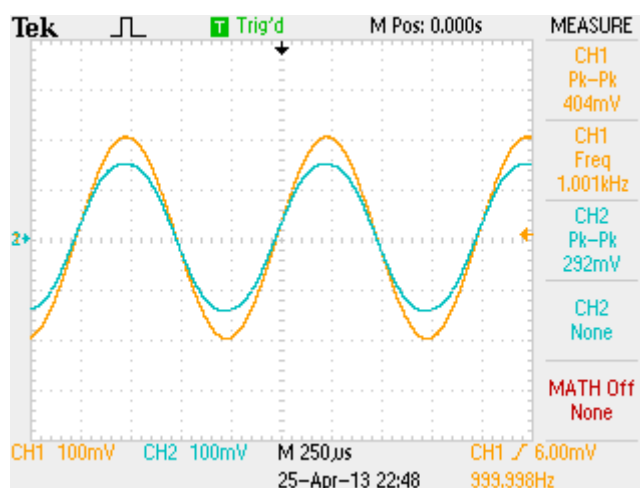
Příloha F: Průběh vstupního a výstupního napětí pro přenos F3



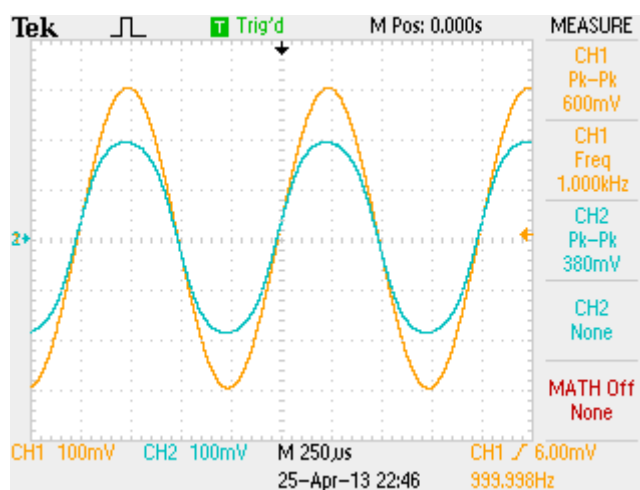
Příloha G: Průběhy napětí mžikového kompresoru při vstupním signálu $P_k - P_k = 200\text{mV}$



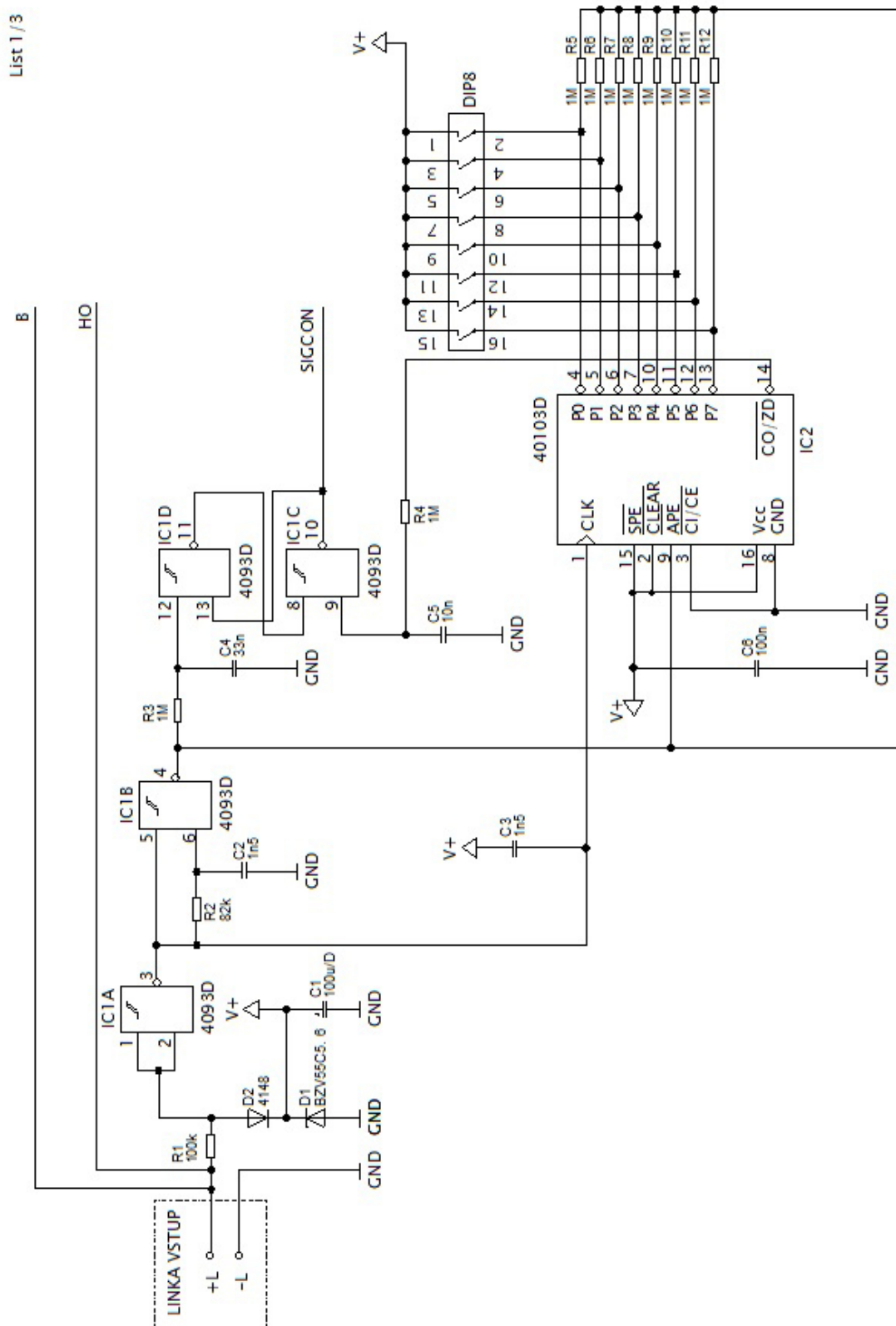
Příloha H: Průběhy napětí mžikového kompresoru při vstupním signálu $P_k - P_k = 400\text{mV}$



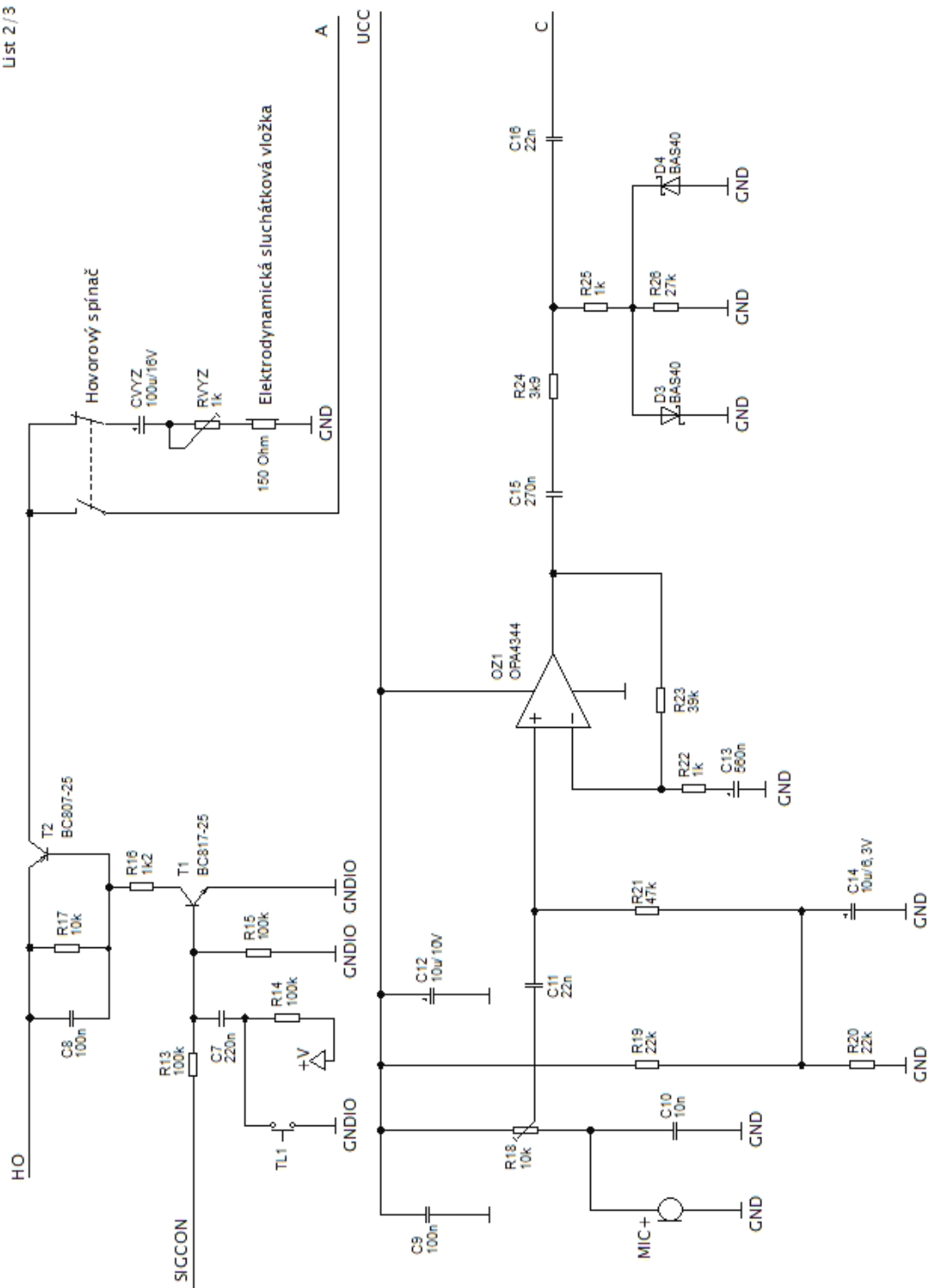
Příloha I: Průběhy napětí mžikového kompresoru při přebuzení vstupního signálu



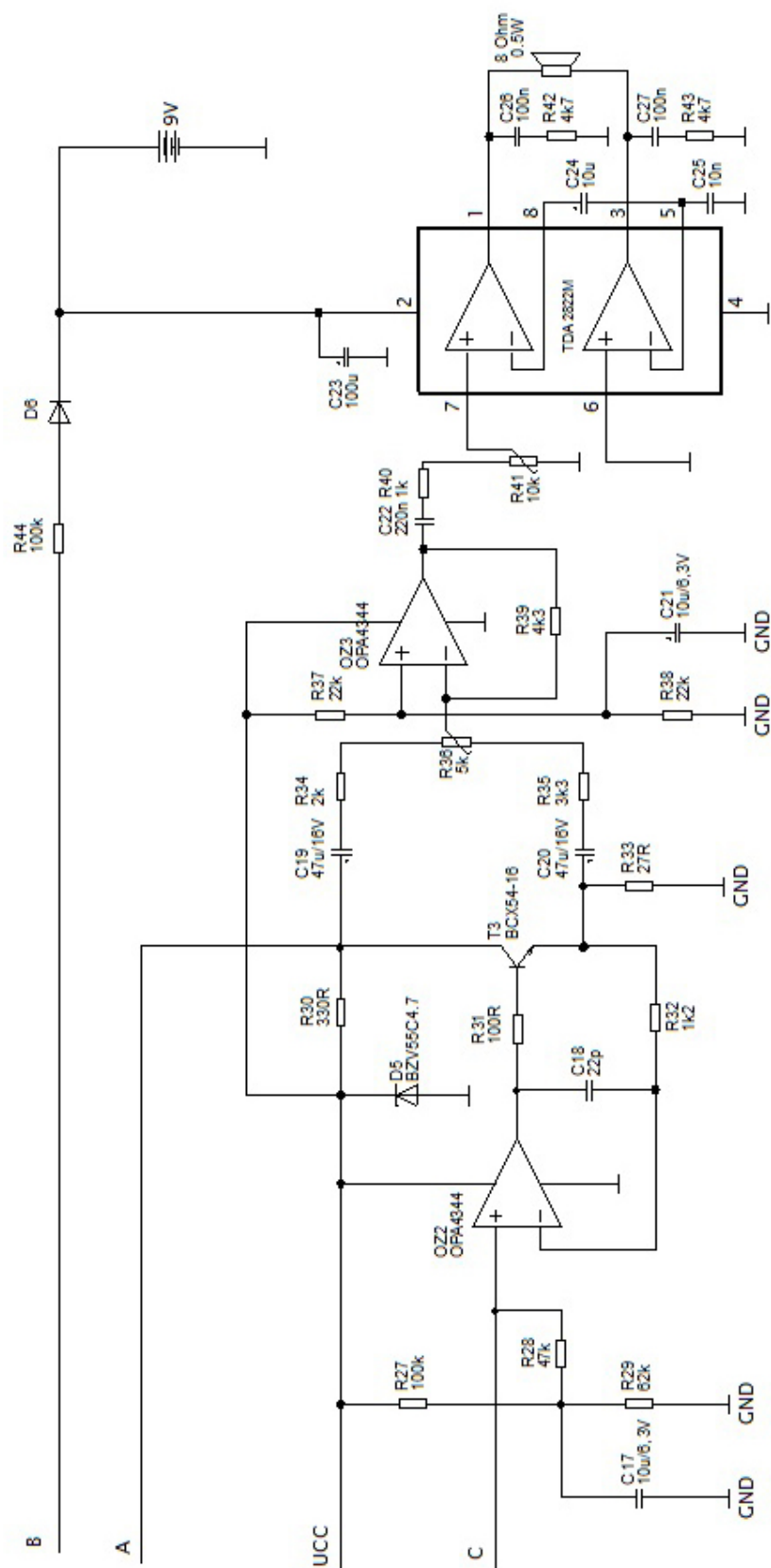
Příloha J: Schéma zapojení hlasité hovorové soupravy



List 2 / 3



List 3 / 3



Příloha K: Adresářová struktura přiloženého DVD

/Datasheety	Adresář s datasheety k integrovaným obvodům
/Obrazky	Adresář se všemi obrázky v práci
/Prace	Adresář s bakalářskou prací a zadáním
/Prilohy	Adresář s přílohami k práci
/Software	Adresář se softwarem SNAP v 2.61 pro analýzu obvodů a softwarem ProfiCAD pro tvorbu schémat